



Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil  
2011

**JAEI MARTINS  
SIMÕES**

**AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA NA INTERFACE  
ARGAMASSA/CERÂMICO**





**JAEL MARTINS  
SIMÕES**

**AVALIAÇÃO DA ADERÊNCIA NA INTERFACE  
ARGAMASSA/CERÂMICO**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Luísa Lomelino Velosa, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro e do Doutor Paulo Barreto Cachim, Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.



Aos meus pais.



## **o júri**

presidente

**Professora Doutora Margarida João Fernandes De Pinho Lopes**  
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

**Professora Doutora Ana Luísa Pinheiro Lomelino Velosa**  
Professora Auxiliar da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor Paulo Barreto Cachim**  
Professor Associado da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor João Paulo Pereira de Freitas Coroado**  
Professor Coordenador do Instituto Politécnico de Tomar





## **Agradecimentos**

Agradeço sinceramente a todos os que influenciaram e contribuíram na concretização deste objectivo.

À Professora Ana Velosa pela sua orientação, constante incentivo e motivação, compreensão, disponibilidade e partilha de conhecimento.

Ao Professor Paulo Cachim pela sua co-orientação e apoio prestado no desenvolvimento do mecanismo de ensaio.

À Câmara Municipal de Ovar que por intermédio do Atelier de Conservação e Restauro do Azulejo permitiu o acesso a documentos relevantes para a presente dissertação, em especial à Mestre Isabel Ferreira pela ajuda e cooperação demonstradas, agradecendo ainda as longas conversas relacionadas com o presente tema e que foram de grande incentivo para a concretização deste trabalho.

À equipa técnica do laboratório de Engenharia Civil pela disponibilidade e auxílio prestado sempre que solicitado, em particular ao Engenheiro António Figueiredo.

À investigadora Marisa Costa, à Mestre Liliane Ribeiro e ao Investigador Luís Mariz pela ajuda.

À Mestre Cristina Cequeira, do Departamento do Geociências da Universidade de Aveiro, pela realização dos ensaios de FRX.

A todos os meus colegas de curso pelos bons momentos que passamos juntos, com um agradecimento especial para o Bruno Pereira que desde o início me acompanhou e que muitas vezes teve a paciência de me ouvir.



À Rita Reis pelas gargalhadas e as lágrimas partilhadas, pela ajuda no trabalho laboratorial, e principalmente pela amizade e compreensão.

À Sofia Costa pela amizade, tristezas e alegrias partilhadas principalmente por ter feito parte de um dos melhores momentos até hoje.

À Rita Afonso pelo constante apoio apesar de muitas vezes a distância ter condicionado, e pela amizade.

Ao Fabrício Galvão pela amizade e conversas interessantes e intelectualmente e profissionalmente construtivas.

Ao Pedro Ribeiro pelo incansável apoio, motivação, positivismo, exemplo de dedicação, és uma pessoa muito especial.

À minha família que sempre me apoiou e motivou de forma a ser possível a concretização deste objectivo pessoal. Em especial agradeço à minha irmã Jacqueline pela compreensão, apoio e motivação incansáveis, à minha sobrinha Inês pelo carinho e amor que sempre mostrou mesmo nos momentos mais difíceis e ao meu cunhado Joaquim pela motivação.

Um agradecimento muito especial aos meus pais, João e Fernanda, os quais foram os verdadeiros responsáveis pela execução deste trabalho, sem eles não teria sido possível realizá-lo. Obrigada pelo vosso enorme amor, pelos valores que me ensinaram e me tornaram na pessoa que sou hoje, pela paciência que sempre mostraram, pelo apoio inesgotável que sempre me deram e continuam a dar, motivação e confiança que depositaram em mim, mostrando-me que era capaz de atingir objectivos que chegaram-me a parecer inatingíveis.

A todos um MUITO OBRIGADA!



**palavras-chave**

Azulejo do século XIX, argamassa, interface, esforço de corte

**resumo**

O presente trabalho tem como objectivo avaliar experimentalmente o mecanismo de aderência na interface argamassa/cerâmico, mecanismo este que, através do desenvolvimento de métodos de ensaio, permitirá determinar aproximadamente o esforço de corte. O processo referido possibilitará a caracterização das superfícies de ruptura da interface por modelos de plasticidade. Também serão definidos os parâmetros condicionadores dos ensaios experimentais em desenvolvimento.



**keywords**

Nineteenth century tiles, mortar, interface, shear stress

**abstract**

The present work aims to experimentally evaluate the mechanism of adhesion at the mortar/ceramic interface. This mechanism, through the development of test methods, will approximately define shear stress in the interface of the two materials. This process will enable the characterization of the split of surfaces using plasticity models. It also will define the parameters affecting the experimental tests.





# Índice

<b>Índice de Figuras .....</b>	<b>V</b>
<b>Índice de Tabelas.....</b>	<b>IX</b>
<b>Abreviaturas.....</b>	<b>XI</b>
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Resumo .....	1
1.2. Contexto histórico da argamassa .....	2
1.3. Contexto histórico do azulejo.....	3
1.4. Azulejo de finais do Século XIX e Início Século XX em Ovar .....	7
1.4.1. Processo de fabrico dos azulejos .....	9
<b>2. Degradações de Fachadas Azulejadas em Ovar .....</b>	<b>13</b>
2.1. Humidade .....	13
2.2. Destacamento de azulejos .....	15
2.3. Fendilhação (azulejos, argamassas ou suportes) .....	16
2.4. Destacamento do vidrado.....	17
2.5. Biodegradação .....	18
2.6. Defeitos de vidragem.....	19
2.7. Eflorescências e criptoflorescências .....	23
2.8. Factores Antrópicos .....	24
<b>3. Caracterização dos Constituintes Originais .....</b>	<b>27</b>
3.1. Os azulejos de finais do século XIX de Ovar .....	27
3.1.1. Dimensões e qualidade superficial .....	30
3.1.2. Propriedades físicas .....	32
3.1.3. Características químicas.....	34
3.2. Caracterização das argamassas de finais do século XIX em Ovar .....	36
3.2.1. Características físicas .....	39
3.2.2. Características mecânicas.....	41

3.2.3.	Características químicas .....	43
3.3.	Caracterização das fachadas .....	45
3.3.1.	Processo n.º024 .....	45
3.3.2.	Processo n.º086 .....	48
3.3.3.	Processo n.º104 .....	50
<b>4.</b>	<b>Metodologia de Ensaios .....</b>	<b>53</b>
4.1.	Análise de FRX.....	53
4.2.	Análise granulométrica da areia .....	54
4.3.	Determinação da massa volúmica aparente da cal.....	55
4.4.	Argamassa fresca – consistência por espalhamento .....	55
4.5.	Ensaio à flexão e compressão .....	56
4.5.1.	Resistência à tracção por flexão da argamassa .....	56
4.5.2.	Resistência à compressão da argamassa .....	58
4.6.	Aderência por corte.....	59
<b>5.</b>	<b>Descrição dos Materiais.....</b>	<b>63</b>
5.1.	Agregados .....	63
5.2.	Ligantes .....	63
5.3.	Água de amassadura.....	64
5.4.	Azulejos.....	65
5.4.1.	Originais (Ovar) .....	65
5.4.2.	Substituição .....	66
5.5.	Tijolos.....	68
<b>6.</b>	<b>Análise de Resultados .....</b>	<b>71</b>
6.1.	Análises dos Materiais .....	71
6.1.1.	Resultado da análise de FRX .....	71
6.1.2.	Análise granulométrica da areia.....	74
6.1.3.	Argamassa fresca – consistência por espalhamento.....	75
6.2.	Resultados dos Ensaios .....	77
6.2.1.	Ensaio de flexão e compressão .....	77
6.2.2.	Aderência por corte .....	82

<b>7. Conclusões .....</b>	<b>99</b>
<b>8. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>103</b>



## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b>	Piso constituído por argamassa de cal e pedras, descoberto em Yiftahel, sul da Galiléia (Wikipédia, 2011).....	3
<b>Figura 2.</b>	Ânforas e outros elementos cerâmicos encontrados no Coliseu de Roma.....	4
<b>Figura 3.</b>	Pormenor de figura no museu de Pérgamo, Berlim, pertencente à Porta de Ishtar, Babilónia (Meisse, 2011).....	5
<b>Figura 4.</b>	Azulejos estilo alicatado pertencentes ao Palácio Nacional de Sintra.....	6
<b>Figura 5.</b>	Aberturas de ventilação realizadas aquando da construção do edifício.....	15
<b>Figura 6.</b>	Fachada com empolamento e destacamento do azulejo. ....	16
<b>Figura 7.</b>	Empolamento de toda a fachada. ....	16
<b>Figura 8.</b>	Fendilhação no azulejo e possivelmente na argamassa de assentamento. ....	17
<b>Figura 9.</b>	Azulejos com destacamento de vidrado.....	18
<b>Figura 10.</b>	Macrorganismos presentes na antiga <i>Pharmacia de J. J. S. Lamy</i> , em Ovar.. .....	19
<b>Figura 11.</b>	Colonização biológica na área de circulação de água e friso com <i>craquelê</i> e microrganismos.....	19
<b>Figura 12.</b>	Repelência do esmalte.....	20
<b>Figura 13.</b>	Azulejos apresentando <i>craquelê</i> .....	21
<b>Figura 14.</b>	Picado verificado nos azulejos do processo n.º054. ....	22
<b>Figura 15.</b>	Manchas brancas em azulejos. ....	22
<b>Figura 16.</b>	Pormenor de concreções calcárias. ....	24
<b>Figura 17.</b>	Acção do homem sobre fachadas azulejadas. ....	25
<b>Figura 18.</b>	Edifício devoluto com macro organismos.....	25
<b>Figura 19.</b>	Tardo processado n.º024 (à esquerda) e um exemplar de um tardo usual da época, no caso, corresponde ao processo n.º086 (à direita). ....	31
<b>Figura 20.</b>	Exemplares do processo n.º076. ....	31
<b>Figura 21.</b>	Comparação do tipo de chacota. Processo n.º087 (chacota branca) e processo n.º076 (chacota rosa). ....	32
<b>Figura 22.</b>	Suportes, referentes aos processos n.º 069 e 087, em xisto e argamassa de cal e areia média/grossa (Ferreira, 2005; 2006). ....	39

<b>Figura 23.</b>	Suporte, referente ao processo n.º 086, com recolocação dos azulejos com argamassa de substituição (Ferreira, 2006).....	39
<b>Figura 24.</b>	Mapeamento das anomalias da fachada do processo n.º024 (Ribeiro, 2011)..	46
<b>Figura 25.</b>	Mapeamento das anomalias verificadas na fachada – Processo n.º086 (Ribeiro, 2011). .....	48
<b>Figura 26.</b>	Mapeamento das anomalias de fachada – Processo n.º104 (Ribeiro, 2011)....	50
<b>Figura 27.</b>	Obtenção das amostras em pó dos azulejos. ....	53
<b>Figura 28.</b>	a) Lavagem da areia; b) coluna de peneiração e agitador de peneiros; c) areia peneirada.....	54
<b>Figura 29.</b>	Prensa digital de ensaios CBR, Marshall e Triaxial do laboratório de Engenharia Civil. Ensaio de um provete à flexão. ....	57
<b>Figura 30.</b>	Prensa digital de ensaios CBR, Marshall e Triaxial do laboratório de Engenharia Civil.....	58
<b>Figura 31.</b>	Modos de ruptura: a) ruptura adesiva argamassa/azulejo; b) ruptura adesiva e coesiva da argamassa; c) ruptura coesiva da argamassa (Mansur e Mansur, 2011).....	59
<b>Figura 32.</b>	Aplicação de chapisco nos provetes, esquadro com 1cm de espessura para aplicação do reboco e provetes, respectivamente.....	60
<b>Figura 33.</b>	Esquema exemplificativo do ensaio ao corte com duas faces com azulejo (MR14, 1994) .....	61
<b>Figura 34.</b>	Esquema de ensaio dos provetes realizados. ....	62
<b>Figura 35.</b>	Limpeza do tardoz.....	65
<b>Figura 36.</b>	Partes de tijolo furado corrente utilizadas nos provetes. ....	69
<b>Figura 37.</b>	Curva granulométrica de areia de rio. ....	74
<b>Figura 38.</b>	Ruptura do provete no ensaio à flexão. ....	77
<b>Figura 39.</b>	Gráficos comparativos da resistência das argamassas de cal e cimento à flexão. ....	78
<b>Figura 40.</b>	Ensaio de provete (à esquerda). Forma de ruptura dos provetes à compressão (à direita).....	79
<b>Figura 41.</b>	Gráficos comparativos da resistência das argamassas de cal e cimento à compressão. ....	80

<b>Figura 42.</b>	Determinação da área sujeita ao corte de cada face (Autodesk, 2009).....	82
<b>Figura 43.</b>	Gráfico comparativo dos resultados obtidos no primeiro ensaio experimental de aderência por corte. ....	83
<b>Figura 44.</b>	Ruptura do provete P1_CA_Hr. ....	84
<b>Figura 45.</b>	Ruptura do provete P2_CA_Hr. ....	84
<b>Figura 46.</b>	Ruptura do provete P3_CA_Az. ....	85
<b>Figura 47.</b>	Áreas correspondentes aos modos de ruptura adesiva (amarelo) e coesiva (rosa). ....	85
<b>Figura 48.</b>	Gráfico comparativo da resistência à aderência por corte nos provetes com argamassas de cal e azulejos de substituição.....	86
<b>Figura 49.</b>	Diagrama representativo tensão/deformação dos provetes com cal e azulejos de substituição. ....	87
<b>Figura 50.</b>	Modo de ruptura do provete P4_CA_Hr. ....	87
<b>Figura 51.</b>	Modo de ruptura do provete P5_CA_Az. ....	88
<b>Figura 52.</b>	Modo de ruptura do provete P6_CA_Az. ....	88
<b>Figura 53.</b>	Modo de ruptura do provete P7_CA_Az. ....	88
<b>Figura 54.</b>	Modo de ruptura do provete P8_CA_Hr.....	89
<b>Figura 55.</b>	Gráfico comparativo da resistência da aderência por corte das argamassas de cimento. ....	90
<b>Figura 56.</b>	Diagrama representativo tensão/deformação dos provetes com cimento e azulejos de substituição.....	91
<b>Figura 57.</b>	Modo de ruptura do provete P9_CI_Az. ....	92
<b>Figura 58.</b>	Modo de ruptura do provete P10_CI_Az. ....	92
<b>Figura 59.</b>	Modo de ruptura do provete P11_CI_Hr. ....	92
<b>Figura 60.</b>	Modo de ruptura do provete P12_CI_AzV. ....	93
<b>Figura 61.</b>	Modo de ruptura do provete P13_CI_Hr. ....	93
<b>Figura 62.</b>	Modo de ruptura do provete P14_CI_Hr. ....	93
<b>Figura 63.</b>	Gráfico comparativo da resistência à aderência por corte, azulejos originais de Ovar. ....	95
<b>Figura 64.</b>	Diagrama representativo tensão/deformação dos provetes com cal e azulejos originais. ....	95
<b>Figura 65.</b>	Modo de ruptura do provete P15_CA_086. ....	96

<b>Figura 66.</b>	Modo de ruptura do provete P16_CA_024.....	97
<b>Figura 67.</b>	Modo de ruptura do provete P17_CA_104.....	97



## Índice de Tabelas

<b>Tabela 1:</b> Informação geral dos azulejos.....	27
<b>Tabela 2:</b> Características exigidas para revestimentos cerâmicos. ....	29
<b>Tabela 3:</b> Principais características a serem observadas nas argamassas de substituição (Teixeira, 2008). ....	36
<b>Tabela 4:</b> Quadro resumo dos requisitos que devem ser observados pelas argamassas de substituição (Veiga , Aguiar, et al., 2001; Veiga e Carvalho, 2002) .....	38
<b>Tabela 5:</b> Módulo de elasticidade de argamassas de fachadas em Ovar (Teixeira, 2008)..	41
<b>Tabela 6:</b> Módulos de elasticidade dinâmicos de argamassas de cal recentes. ....	42
<b>Tabela 7:</b> Tipo de aderência nas fachadas de Ovar (Ribeiro, 2011).....	43
<b>Tabela 8:</b> Resultado da análise mineralógica de argamassas das fachadas correspondentes aos processos (Ferreira, 2009) .....	44
<b>Tabela 9:</b> Propriedades relevantes – Processo n.º024 (Teixeira, 2008; Valente, 2008). ....	46
<b>Tabela 10:</b> Propriedades físicas relevantes – Processo n.º086. ....	49
<b>Tabela 11:</b> Propriedades relevantes dos elementos constituintes da fachada – Processo n.º104 (Teixeira, 2008; Valente, 2008).....	51
<b>Tabela 12:</b> Propriedades da água da rede no reservatório principal (Carvoeiro, 2011).....	65
<b>Tabela 13:</b> Algumas propriedades de um azulejo de substituição Azupal. ....	66
<b>Tabela 14:</b> Algumas propriedades de um azulejo de substituição HCer.....	67
<b>Tabela 15:</b> Algumas propriedades de um azulejo de substituição Primus Vitoria. ....	68
<b>Tabela 16:</b> Resultados da análise FRX dos azulejos originais e algumas reproduções. ....	71
<b>Tabela 17:</b> Resultados da análise FRX de argamassas originais. ....	73
<b>Tabela 18:</b> Proporções e consistência por espalhamento das formulações realizadas em laboratório. ....	76
<b>Tabela 19:</b> Resultados de ensaio de tracção à flexão.....	78
<b>Tabela 20:</b> Resultados médios de ensaio à compressão das argamassas formuladas. ....	80
<b>Tabela 21:</b> Tensões de corte dos primeiros ensaios experimentais. ....	83
<b>Tabela 22:</b> Modos de ruptura da campanha de provetes com cal – 1. ....	85
<b>Tabela 23:</b> Resultados dos ensaios à aderência por corte, com cal. ....	86
<b>Tabela 24:</b> Modos de ruptura da campanha de provetes com cal – 2. ....	89
<b>Tabela 25:</b> Resultados dos ensaios à aderência por corte, com cimento. ....	90

<b>Tabela 26:</b> Modos de ruptura da campanha de provetes com cimento – 2.....	94
<b>Tabela 27:</b> Resultados dos ensaios à aderência por corte com azulejos originais de Ovar.	95
<b>Tabela 28:</b> Modos de ruptura da campanha de provetes com cal – 3 e 4. ....	97

## Abreviaturas

<b>RAH209 T1</b>	Rua Alexandre Herculano, n.º209 (Tardoz 1)
<b>RAH209 T2</b>	Rua Alexandre Herculano, n.º209 (Tardoz 2)
<b>RDC</b>	Rua Dr. Cunha
<b>RPF</b>	Rua Padre Férrer
<b>RLC</b>	Rua Luís de Camões
<b>RMA</b>	Rua Manuel Arala
<b>RMA111</b>	Rua Manuel Arala, n.º111
<b>RMA184</b>	Rua Manuel Arala, n.º184
<b>SJO</b>	Rua São João de Ovar
<b>RCCB</b>	Rua Camilo Castelo Branco
<b>REG</b>	Rua Elías Garcia
<b>RDC15</b>	Rua Dr. Cunha, n.º15
<b>RDS538</b>	Rua do Sobral, n.º538
<b>RHS11</b>	Rua Heliodoro Salgado, n.º11
<b>RJF147</b>	Rua José Falcão, n.º147
<b>RCCB RH</b>	Rua Camilo Castelo Branco, reprodução da marca HCer
<b>RCCB RP</b>	Rua Camilo Castelo Branco, reprodução da marca Primus Vitoria
<b>RMA184 RG</b>	Rua Manuel Arala, n.º184, reprodução da marca Azupal com aspecto granulado
<b>RMA184 RL</b>	Rua Manuel Arala, n.º184, reprodução da marca Azupal com aspecto liso
<b>RPF Racra</b>	Rua Padre Férrer, reprodução do Atelier de Conservação e Restauro do Azulejo
<b>R<sub>t</sub></b>	Resistência à tracção
<b>R<sub>c</sub></b>	Resistência à compressão
<b>E</b>	Módulo de elasticidade
<b>S<sub>D</sub></b>	Espessura da camada de ar
<b>C</b>	Coeficiente de capilaridade
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>SiO<sub>2</sub></b>	Sílica
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Alumina
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Óxido de Ferro
<b>MnO</b>	Óxido de Manganês
<b>MgO</b>	Carbonato de Magnésio
<b>CaO</b>	Óxido de Cálcio
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	Feldspato sódico
<b>K<sub>2</sub>O</b>	Feldspato potássico
<b>TiO<sub>2</sub></b>	Óxido Titânico
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	Pentóxido de Difósforo
<b>CaCO<sub>3</sub></b>	Carbonato de Cálcio

<b>Cl</b>	Cloro
<b>NO<sub>3</sub></b>	Nitrato
<b>L.O.I.</b>	Perda ao rubro
<b>mm</b>	Milímetro
<b>m</b>	Metro
<b>cm</b>	Centímetro
<b>min</b>	Minuto
<b>h</b>	Hora
<b>°C</b>	Grau Celsius
<b>g</b>	Grama
<b>kg</b>	Kilograma
<b>mg</b>	Miligrama
<b>ng</b>	Nanograma
<b>L</b>	Litro
<b>N</b>	Newton
<b>Pa</b>	Pascal
<b>MPa</b>	Megapascal
<b>kPa</b>	Kilopascal
<b>FRX</b>	Fluorescência de raio-X

# 1. INTRODUÇÃO

“As cidades e as aldeias históricas, no seu contexto territorial, representam uma parte essencial do nosso património universal. (...) Em meio urbano, a conservação tem por objecto, quer os conjuntos edificados, quer os espaços livres. A sua área de intervenção tanto pode restringir-se a uma parcela de um grande aglomerado urbano, como englobar a totalidade de uma pequena cidade ou mesmo uma aldeia, integrando sempre os respectivos valores imateriais, ou intangíveis. Neste contexto, a intervenção na cidade histórica deve ter presente a morfologia, as funções e as estruturas urbanas, na sua interligação com o território e a paisagem envolventes. Os edifícios que constituem as zonas históricas podendo não se destacar pelo seu valor arquitectónico especial, devem ser salvaguardados como elementos de continuidade urbana, devido às suas características dimensionais, técnicas, espaciais, decorativas e cromáticas, elementos de união insubstituíveis para a unidade orgânica da cidade. O “projecto de restauro” das cidades ou aldeias históricas deve, não só verificar a sustentabilidade das opções estratégicas que assume, como prever o processo de gestão de futuras alterações, ligando as questões da conservação do património aos aspectos económicos e sociais. Para além do conhecimento das estruturas físicas, devem ser estudadas as influências que futuras alterações poderão provocar, bem como os necessários instrumentos para gerir essas alterações.” – Objectivo n.º8 da Carta de Cracóvia (Melucco , Naeyer, et al., 2000).

## 1.1. Resumo

Esta dissertação foi desenvolvida tendo em conta a necessidade de utilizar programas de elementos finitos para investigações futuras no âmbito da reabilitação, principalmente a nível estrutural. Neste contexto, interessa conhecer as características dos conjuntos que constituem o edificado de forma a se obter então resultados mais precisos e não meras aproximações, para tal é importante perceber o funcionamento, em particular, da ligação dos vários elementos constituintes, a saber: azulejo, argamassa de reboco e suporte.

Com o objectivo de estudar o tipo de ligação que existe entre os elementos, é referido neste trabalho as várias características físicas, químicas e mecânicas de cada um, na sua maioria já conhecidas de estudos anteriores, no entanto, o tipo de comportamento na interface argamassa/azulejo sujeito a tensões de corte é um tema ainda não muito aprofundado. Assim, o presente trabalho teve como objectivo desenvolver um mecanismo de ensaio a partir do qual fosse possível avaliar a aderência na interface mencionada anteriormente.

## **1.2.Contexto histórico da argamassa**

Argamassa é tradicionalmente o resultado de uma mistura de agregados, ligante (cimento, cal, etc.) e água, actualmente, também lhe podem ser adicionados adjuvantes e aditivos. Há bastante tempo, podendo-se falar até mesmo em milénios, que as argamassas são utilizadas basicamente de duas formas, por um lado como ligação entre outros materiais (principalmente tijolos e pedras) e por outro, utilizada para proteger o edifício das agressões atmosféricas, podendo-se definir como “pele” do edifício. Esta revela ser de extrema importância já que promove a conservação dos edifícios (Palomo , Blanco-Varela, et al., 2002).

O barro, o gesso e a cal foram os três tipos de ligantes mais utilizados até há cerca de dois séculos atrás, quando foram gradualmente substituídos pelo cimento portland (Elsen, 2006), o qual actualmente é o ligante vulgarmente utilizado ao nível das construções novas e também, de forma errada já que normalmente há conflito de compatibilidade de materiais, na reabilitação de edifícios e monumentos históricos. Dentre os três tipos de ligantes referidos, o barro possivelmente é o mais antigo material usado na produção de argamassas, até porque o uso da argila foi identificado, por exemplo, em Catal Hüyük na Turquia, datado de 6 000 a.C. Foi realizada uma escavação em Canjenü, também na Turquia, onde foi encontrado um terraço realizado com argamassa de cal datado entre 12 000 e 5 000 a.C. Outro exemplo da utilização da argamassa de cal, foi a sua aplicação no revestimento das casas de pescadores em Livinski Vir, Sérvia e Montenegro, datadas de aproximadamente 5 600 a.C. (Elsen, 2006). Ainda, um ultimo exemplo, sendo considerado o registo mais antigo do emprego de argamassa, um piso com cerca de 180m<sup>2</sup>, descoberto em Yiftah’el, norte de Israel, em 1985 mas datado de aproximadamente à 10 000 a.C. (Carasek, 2007; EMO, 2011; Wikipédia, 2011).



Figura 1. Piso constituído por argamassa de cal e pedras, descoberto em Yiftahel, sul da Galiléia (Wikipédia, 2011).

Verifica-se ao longo da história variação no tipo de ligante utilizado, mas apesar de tudo, é de notar que a mesma não foi muito notória. Tendo em conta que este tipo de argamassa, cal e areia, já é usado por milhares de séculos, houve necessidade de perceber quais são na verdade, as qualidades da mesma com um único grande objectivo – preservação do património. Neste sentido, ao longo dos anos foram realizados estudos de caracterização tendo em conta a avaliação das propriedades físicas, mecânicas e químicas.

No presente trabalho, será dada ênfase à argamassa de cal, visto ter sido a utilizada na aplicação dos revestimentos azulejares nas fachadas de Ovar.

### **1.3.Contexto histórico do azulejo**

O azulejo pode ser definido através da raiz etimológica árabe do termo “azulejo” como *az-zulaich* (Almasqué e Veloso, 2010) (pedra lisa e polida), placa cerâmica vitrificada e/ou esmaltada. Esta era usada no revestimento de paredes, tendo um formato quadrado com espessura pequena. O azulejo pode ser dividido em duas partes independentes: suporte ou placa e a camada de esmalte. O primeiro constitui o corpo mais ou menos poroso do azulejo, o qual lhe dá a forma e dimensão e que também pode ser subdividido em duas partes: a chacota e o tardo, sendo a chacota a placa de barro cozido sobre a qual é aplicado o vidrado e o tardo a face não vidrada do azulejo. O segundo, é constituído por um vidrado que lhe confere as suas principais características: impermeabilidade, resistência ao desgaste e presença decorativa (Moreira, 2008; Valente,

2008). No vidrado era aplicado, dependendo da época, a estampilhagem ou a decalcomania (estapagem mecânica), para além que podiam ser decorados pelo relevo realizado durante o processo de fabrico. Na estampilhagem, sobre o azulejo vidrado, era colocado uma estampilha em papel encerado com os recortes correspondentes ao desenho desejado e sobre estas eram pintadas as respectivas cores, ao contrário da estampagem, onde o azulejo era prensado mecanicamente com uma estampa de papel sobre o qual era aplicada uma camada de vidrado transparente do qual se vê o desenho (Ferreira, 2009).

Após um período de talvez milhares de anos, em que o barro era usado no seu estado plástico para produzir essencialmente estatuetas, descobriu-se que este podia ter funções mais importantes do que o que apenas tinha sido feito até então, como por exemplo, sendo seco ao sol ele manteria a forma que lhe tivessem dado e ganhava mais resistência quando cozido (na altura, normalmente as temperaturas ainda eram relativamente baixas), apesar disso, continuava a ser necessário revestir com alcatrão ou resina para os tornar estanque no caso de transporte de líquidos (Tharp e Deborah, 1995).

Com o passar do tempo houve um melhoramento da qualidade do barro e inclusivamente da temperatura a que era cozido, aumentando desta forma a sua resistência e a sua dureza. O resultado desta evolução foi o grés. Este material não tinha necessidade de ser revestido como os seus antecessores, as ânforas, já que apresentava excelentes características quanto á estanquidade para o transporte do vinho do Mediterrâneo.



Figura 2. Ânforas e outros elementos cerâmicos encontrados no Coliseu de Roma.

Outro grande passo no sentido do melhoramento do grés foi a descoberta e desenvolvimento do vidrado que servia não só como protecção do barro como também podia ser colorido com óxido metálico podendo obter uma grande variedade de cores e



texturas de vidrado. Segundo o autor Fraser (Fraser, 1998) o vidrado provavelmente surgiu no Egito, quando os egípcios, ao produzirem ornamentos cerâmicos, dissolveram compostos de sódio em argilas, e estes sais solúveis naturalmente migraram com a água para a superfície dos objectos, onde se formou uma película de sais que após o processo de queima formou o vidrado. A partir deste ponto houve um contínuo desenvolvimento desse vidrado até ao ponto que o conhecemos actualmente.

No museu Pérgamo, em Berlim, ainda é possível ver uma das primeiras aplicações conhecidas e preservadas até aos dias de hoje, de tijolos de barro com vidrado, a Porta de Ishtar, a oitava de Babilónia, datada de 575 a.C.



Figura 3. Pormenor de figura no museu de Pérgamo, Berlim, pertencente à Porta de Ishtar, Babilónia (Meisse, 2011).

Foram vários os países que promoveram a evolução e aprimoramento da cerâmica no geral, mas quem realmente teve uma forte influência, segundo os autores Tharp e Deborah (Tharp e Deborah, 1995), foi a China:

“Durante a dinastia Chang (1766-1122 a.C.), a primeira na história chinesa de que sobrevivem registos, o oleiro adaptou técnicas da indústria do bronze para construir fornos mais avançados e, pela primeira vez, fabricar louça de corpo branco e aplicar o vidrado. Os desenvolvimentos durante a dinastia Han (206 a.C.-220) incluem o vidrado de chumbo e louça cozida a alta temperatura.(...) A técnica de pintar cerâmica por cima do vidrado foi criada c.1200, na louça de grés Tz'u Chou do Norte da China. Ao princípio, a paleta era limitada a três cores: vermelho, verde e amarelo.”

Ao longo dos séculos, o comércio entre diversos países que tradicionalmente utilizavam o barro, desde a China aos países islâmicos, os quais tem utilizado uma rica e

grande variedade de argilas desde a existência das grandes potências mundiais como o Egito e a Mesopotâmia, permitiu uma fusão de culturas a qual é evidenciada através das técnicas, cores e motivos apresentados nos azulejos.

No século VIII (711), aquando da ocupação da península ibérica pelos árabes, onde permaneceram cerca de 800 anos, estes deixaram uma herança considerável, entre a qual se inclui o azulejo como elemento decorativo de fachadas. Daí, no século XV, surgiram quatro grandes produtores de azulejos na Península: Sevilha, Valência, Málaga e Toledo (Carasek, 2007; Azulejo, 2008). No final deste mesmo século, a azulejaria de Sevilha e Granada decorou com os famosos azulejos hispano-mouriscos o Palácio de Sintra a pedido de D. Manuel. Os portugueses na época utilizavam principalmente os azulejos para revestir o interior de igrejas, palácios e conventos (Velooso e Almasqué, 1991; Moreira, 2008).



Figura 4. Azulejos estilo alicatado pertencentes ao Palácio Nacional de Sintra.

Na primeira metade do século XVI iniciou-se então em Portugal a produção de azulejos, centrando-se em Lisboa numa primeira fase (Museu, 2008).

Quando Portugal iniciou as trocas comerciais com o Brasil, exportaram massivamente para o mesmo os azulejos em troca de café, açúcar, madeiras exóticas e ouro. No Brasil, tendo em conta dois factores, clima do país (quente e húmido) e a estanqueidade do azulejo, para além da decoração, supõem-se que por estas razões promoveram a utilização dos azulejos como revestimento exterior das fachadas (Velooso e Almasqué, 1991) e esta prática que se generalizou influenciou também a forma como este era utilizado em Portugal, onde também passou a ser frequentemente aplicado no exterior de fachadas de edifícios privados. Desta forma houve uma rápida expansão na azulejaria o que levou num período posterior, século XIX, a serem criadas fábricas de produção intensiva de azulejos em mais dois centros além de Lisboa: Porto e Aveiro (Museu, 2008).

Os autores Veloso e Almasqué (Veloso e Almasqué, 1991) referiram algumas razões, que posteriormente foram corroboradas pela autora Ferreira (Ferreira, 2009), justificando assim a rápida expansão da azulejaria no revestimento de fachadas, sendo elas:

- Resistência e durabilidade;
- Facilidade na aquisição – preço reduzido;
- O aspecto colorido e luz que reflectiam;
- Razões económicas e de higiene, pois as paredes revestidas a azulejos evitavam gastos frequentes com repintura, principalmente nas zonas onde as chuvas desgastam mais rapidamente a pintura.

#### **1.4. Azulejo de finais do Século XIX e Início Século XX em Ovar**

Verificou-se uma significativa emigração para o Brasil, principalmente nos séculos XVII e XVIII, para onde inclusivamente foram enviadas grandes quantidades de azulejos portugueses. Os azulejos brancos passaram a ser utilizados inicialmente como revestimento das fachadas de igrejas, no entanto, esta prática abrangeu também os restantes edifícios locais, no entanto, com azulejos policromados (Almasqué e Veloso, 2010). Aquando do retorno dos “brasileiros” (ficaram assim apelidados os emigrantes portugueses após o seu retorno do Brasil) as fachadas de padrões policromos tornaram-se usuais (Ferreira, 2009).

Além dos grandes centros urbanos como Porto, Aveiro e Lisboa, Ovar, apesar do seu tamanho como cidade, reúne uma grande variedade de azulejos, resultando deste facto a sua designação como a cidade Museu do Azulejo (Ferreira, 2009; Almasqué e Veloso, 2010). Para minimizar as perdas ao nível de património urbanístico da cidade e numa tentativa de melhorar o máximo de fachadas possíveis, foi criado por parte da Câmara Municipal o Atelier de Conservação e Restauro do Azulejo, o qual tem investido na sensibilização da comunidade no geral e dos proprietários de edifícios oitocentistas em particular, de forma a conservar a historicidade de Ovar, tanto ao nível das técnicas utilizadas como também dos materiais (Valente, 2008; Ferreira, 2009).

Relativamente às fábricas que apresentaram uma maior contribuição de azulejos para a cidade de Ovar destacam-se (Valente, 2008):

- Fábrica do Carvalhinho (182...-1878) – Porto
- Fábrica das Devesas (1865 – 197...) – Vila Nova de Gaia

- Fábrica de Pereira Valente (1884 – 196...) – Vila Nova de Gaia

Segundo o autor Queirós (Queirós, 1907), relativamente à Fábrica do Carvalhinho, referiu que a mesma não marcava os produtos, com excepção dos primeiros de laboração da fábrica, mas não há confirmação de tal. No entanto, conhece-se azulejos marcados da mesma, possivelmente de uma época posterior à referida pelo autor, assim é possível que alguns azulejos sem marca que existem poderão ser originários desta fábrica.

No âmbito do presente trabalho, as fábricas alvo de análise são a das Devesas dirigida por A. A. Costa & C.<sup>a</sup> e Fábrica de Cerâmica das Devesas de José Pereira Valente, ambas localizadas em Vila Nova de Gaia, na freguesia de Santa Marinha, visto que os azulejos encontrados na cidade de Ovar, na sua generalidade estão marcados pelas fábricas referidas.

A fábrica das Devesas foi criada por António Almeida Costa, em 1865, que evoluiu em 1973 para Companhia Cerâmicas das Devesas, devido à sociedade que António Costa fez com dois trabalhadores da empresa, José Joaquim Teixeira Lopes e Feliciano Rodrigues da Rocha. Estava localizado excepcionalmente bem já que a fábrica que estava dividida em dois pólos, cerâmicas da construção civil e louças da faiança comum, tinha entre os edifícios o caminho-de-ferro, fazendo o escoamento do produto sem qualquer obstáculo para o mercado nacional e posteriormente estrangeiro, mais especificamente exportações para o Brasil. O mesmo caminho-de-ferro era também utilizado para fazer chegar à fábrica a matéria-prima originária da filial instalada na Pampilhosa (Mealhada), matérias-primas para produção do vidro e para a decoração é que normalmente chegavam pela via marítima que já havia sido o principal meio de acesso às fábricas (Soeiro , Alves, et al., 1995; Portela e Queirós, 2004; Mariz, 2009). A fábrica era uma das mais modernizadas da época, inclusivamente possuíam máquinas que foram desenhadas pelos próprios directores ou mesmo copiadas por modelos estrangeiros e feitas por encomenda nas fundições do Porto, o que revela a grande preocupação na aplicação de novas técnicas e recursos energéticos no sentido de aumentar a capacidade produtiva, eficiência e consequentemente a qualidade, tanto o quanto era permitido pelo continuo crescente capital da mesma, ao contrário do que estaria a acontecer com outras empresas mais antigas (Soeiro , Alves, et al., 1995; Mariz, 2009).

A fábrica de Pereira Valente deve o seu nome exactamente ao seu director, o ceramista José Pereira Valente, funcionário da fábrica das Devesas, dirigida por António

Almeida Costa. Pereira Valente criou a fábrica em 1884, altura em que havia uma grande procura ao nível dos materiais de construção, onde apenas dispunha de um forno, no entanto, com a ajuda de António Costa, que era o comprador maioritário dos seus produtos, esta realidade foi-se alterando e em 1891 pode instalar uma máquina a vapor. A evolução da fábrica verificou-se até em 1904 passar a ser denominada como José Pereira Valente, Filhos, quando os quatro filhos criaram uma sociedade com o pai. A empresa teve um crescimento positivo até aproximadamente 1915, data em que a sociedade se dissolveu e apenas ficaram dois filhos de Pereira Valente a gerir a fábrica, no entanto, foi a partir desta data que a fábrica foi sofrendo uma série de revés até ao seu encerramento na década de 1960 (Soeiro , Alves, et al., 1995).

#### 1.4.1. Processo de fabrico dos azulejos

Ao longo dos séculos, podendo mesmo falar-se em milénios, houve um constante melhoramento no processo de fabrico da cerâmica.

Nas civilizações antigas a argila era humedecida, amassada e seca ao sol, podendo ser adicionado outro material como por exemplo palha no caso de tijolos. Através da experiência, houve uma evolução na produção de peças cerâmicas, e já os romanos, colocavam o barro em tanques preparando suspensões que eram filtradas com o auxílio de panos de linho, depois o barro era seco ao ponto de ainda poder ser trabalhado na roda do oleiro, e as peças passaram a ser cozidas em fornos de lenha de baixas temperaturas (Mariz, 2009).

Relativamente a séculos mais recentes, como século XIX, em que se deu o início da mecanização nas indústrias de produção cerâmica, no estudo feito pelo autor Mariz (Mariz, 2009), este reunindo um conjunto de bibliografia sobre o assunto, conseguiu definir com clareza os passos importantes para a produção azulejar no século já referido e no início do século XX. Na época, as matérias-primas que chegavam às fábricas geralmente não eram avaliadas nem classificadas apesar de ser o procedimento mais adequado a ser adoptado, tendo em conta que poderia diminuir os riscos de manifestação de anomalias principalmente nas fases de cozedura e pós-cozedura. Nos casos em que as matérias-primas eram analisadas, havia duas formas de o fazer: por tacto/aspecto do barro em modo plástico ou humedecido, e por outro lado, por fazer uma cozedura experimental de uma

peça, nos dois métodos era necessário a avaliação de um mestre do ofício tendo em conta a sua experiência no campo.

Numa primeira fase de tratamento das matérias-primas, se o barro não possuísse as características esperadas eram-lhe então adicionados adjuvantes ou lama para fazer as respectivas correcções, este era colocado numa zona coberta a secar por cerca de oito meses, mexido todos os dias, passando também por uma etapa de lavagem, que podia ser feita aproveitando a água da chuva, no entanto, geralmente era feita com rega artificial nas oficinas. Após esse período era amassado durante aproximadamente 15-20 dias, normalmente com o auxílio de bois, e nesta fase é-lhe adicionado água. De seguida, entrava numa fase de curtição, ou endurecimento, após o qual fica pronto para ser usado na produção de peças cerâmicas. Para moagem das lamas que eram adicionadas inicialmente, utilizavam muitas vezes os moinhos de água junto ao Rio Douro (Mariz, 2009).

O processo de produção do azulejo, como peça cerâmica, consistia em conformar o barro já pronto para uso, e com uma faca, ou objecto semelhante, cortar a placa de barro conformada com as medidas aproximadas às finais do azulejo. Geralmente os azulejos mais antigos apresentam uma maior espessura em relação aos mais recentes, facto influenciado pelo uso de maquinarias na produção dos mesmos (Mariz, 2009). Na moldagem manual, era adicionada água suficiente de forma a ser possível moldar a placa com baixa pressão, o que mais tarde se alterou com o uso de máquinas e este método apenas passou a ser usado nas oficinas artesanais (Kingery, 1960). Um dos tipos de azulejos fabricados na época eram os de relevo, os quais inicialmente eram moldados com moldes de gesso e na fase de industrialização passaram a ser moldados com moldes metálicos utilizados em prensas manuais. Esta evolução no processo de fabrico dos azulejos, a utilização de moldes metálicos e prensas, fez com que houvesse um incremento positivo no grau de compactação final do barro, o que permitiu, além do aumento da produtividade e da facilidade na produção de cópias, também um melhor controlo a nível da cozedura e conduziu a uma menor probabilidade de ocorrer empenamentos ou outras anomalias (Kingery, 1960; Mariz, 2009).

A chacota pronta era então deixada a secar, já que no processo de moldagem adquiriu uma determinada quantidade de humidade que era necessária se libertar por evaporação da peça para que o resultado final tivesse boa qualidade. De seguida, a peça era colocada no forno para uma pré cozedura da chacota, à qual depois seria aplicada a

decoreção e o esmalte, voltando de novo a ser cozida a uma temperatura entre os 950°C e os 1020°C, dependendo do tipo de forno e do controlo que lhe era imposto. Após a segunda cozedura, obtinha-se o resultado final – o azulejo como peça decorativa (Biffi, 1987; Ferreira, 2009).

Nos fornos, como combustível era utilizada palha, madeira e carvão. Como não havia uma uniformização do calor dentro do forno então numa tentativa de tirar o melhor rendimento das cozeduras, fazendo uma distribuição das peças dentro do forno tendo em conta o valor das mesmas e a temperatura que necessitavam (Mariz, 2009).

Um entendimento básico dos métodos de fabrico dos azulejos permite entender e concluir que o método utilizado em cada fábrica em particular é determinante no que diz respeito às diferenças de propriedades físicas, químicas e mecânicas.





## **2. DEGRADAÇÕES DE FACHADAS AZULEJADAS EM OVAR**

Uma parte significativa das degradações ao nível das fachadas em Ovar estão relacionadas directamente com a interface argamassa/azulejo, que pode não apresentar o melhor desempenho devido a factores como as diferentes características físico-químicas dos materiais envolvidos.

A absorção de água por capilaridade é uma das principais razões de alteração da durabilidade e da estabilidade das fundações, do suporte, das argamassas e dos azulejos, sendo também o principal responsável pelo agravamento dos destacamentos e fendilhação nos azulejos, ou das argamassas, e o destacamento do vidro (Ferreira, 2009).

Na sua tese de doutoramento, Mariz (Mariz, 2009) criou fichas de anomalias bastante completas, de forma a se conseguir ter uma percepção ao nível global do estado de conservação/degradação dos edifícios, já os autores Silvestre e Brito realizaram tabelas de correlações entre as anomalias, as causas das mesmas, técnicas de reparação e manutenção (Silvestre e Brito, 2008).

Assim, nos próximos subcapítulos serão consideradas de uma forma breve algumas das anomalias mais frequentes verificadas nas fachadas de Ovar.

### **2.1. Humidade**

A presença de água no interior dos paramentos é a origem de algumas anomalias mais frequentes encontradas na cidade de Ovar: destacamento de azulejo, fendilhação, destacamento do vidro, biodegradação, eflorescências e criptoflorescências, que serão consideradas de uma forma breve nos seguintes subcapítulos.

Geralmente, defeitos ao nível da fachada, tais como juntas em mau estado de conservação, elementos construtivos mal executados ou até mesmo as irregularidades entre eles são algumas das principais vias pelas quais a água se infiltra nos paramentos, no caso particular das fachadas Owarenses, a água que por capilaridade ascende do solo para a fachada é a principal responsável pelas anomalias referidas acima. Devido à presença de CO<sub>2</sub> na água, quando esta entra em contacto com os materiais constituintes das fachadas, produz reacções com os sais dos materiais, promovendo a desagregação destes e inclusivamente a perda de material do conjunto fachada (Rodríguez, 2001; Ferreira, 2009).

A elevada porosidade dos materiais constituintes das fachadas pode ser uma vantagem no sentido de evitar que as zonas de manifestação de humidades ascensionais abranjam uma grande área da fachadas, porque conforme o autor Henriques (Henriques, 1995) refere num trabalho, “quanto menor o diâmetro dos poros maior a altura teórica que a água pode atingir”. A área abrangida pelas humidades ascensionais depende também da quantidade de água que está em contacto com as fundações mas também do tipo de escoamento das águas da chuva existente junto à fachada. No entanto, há outro factor importante a considerar – o revestimento é bastante impermeável, se estiver em boas condições de conservação – assim, as condições de evaporação da humidade na parede é reduzida, pelo que a altura de manifestação das humidades ascensionais vai aumentando até que seja estabelecido o equilíbrio. O autor Henriques (Henriques, 1995) indica factores relevantes que condicionam a altura que a água pode atingir numa fachada, como por exemplo a espessura, época de construção e a orientação da mesma, sendo que, geralmente as fachadas orientadas a norte tendem a ser mais afectadas que as fachadas orientadas a sul, que apesar de tudo, não são excepção e também muitas são afectadas por anomalias resultantes de infiltrações de água. A autora Ferreira (Ferreira, 2009) para além de corroborar que a orientação da fachada e que a elevada porosidade das argamassas tem influencia no que diz respeito a anomalias resultantes de humidades, vai mais longe, e refere também que os defeitos de cozedura dos cerâmicos (ver capítulo 2.6) e o tipo de pasta com que os cerâmicos foram fabricados também influenciam no tipo de anomalias manifestadas nas fachadas.

Uma forma de evitar que a água presente no solo afectasse a construção, era por executar aberturas (Figura 5) ao nível do soco que garantiam a evaporação da humidade presente na parede e evitar que esta ascendesse em altura provocando anomalias de várias ordens tanto no suporte como no revestimento cerâmico.

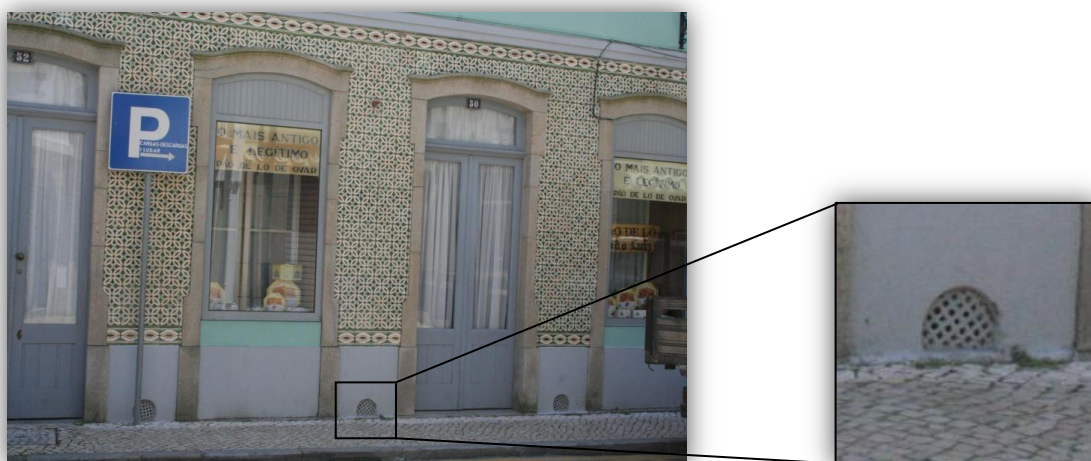


Figura 5. Aberturas de ventilação realizadas aquando da construção do edifício.

No entanto, ao longo dos anos, por várias razões, provavelmente tais como o melhoramento das vias de comunicação, aumentando a altura do pavimento, ou ainda, obras de conservação realizadas pelos proprietários e que não estavam sensibilizados neste sentido, a maior parte dos edifícios já não apresenta estas aberturas que permitiam a ventilação adequada da fachada principalmente em relação às humidades ascensionais.

## **2.2.Destacamento de azulejos**

Os sintomas são perda de aderência relativamente ao suporte, com ou sem empolamento. Pode acontecer não ser possível recolocar os azulejos pelo espaço ser menor do que aquando do primeiro assentamento do azulejo (Valente, 2008).

A má qualidade, ou também a degradação, das argamassas aplicadas e os defeitos de assentamento dos azulejos promovem o destacamento ou empolamento dos azulejos. No entanto, a perda de aderência é normalmente o factor responsável pelo destacamento dos azulejos, onde as deformações estruturais e as solicitações de carácter higrotérmico, que produzem tensões localizadas nos painéis, podem levar ao aparecimento de fissuras e fracturas em alguns azulejos sendo as principais causas relacionadas directamente com o destacamento dos azulejos (Judiciária, 2007; Ferreira, 2009; Mariz, 2009).



Figura 6. Fachada com empolamento e destacamento do azulejo.



Figura 7. Empolamento de toda a fachada.

As zonas habitualmente mais afectadas por esta anomalia encontram-se nas áreas onde se manifesta humidades ascensionais e/ou em áreas bastante prejudicadas por água de infiltração (pelo mau estado de conservação ou simplesmente por degradação das caleiras ou ausência delas), também em zonas de fendilhação dos suportes e das argamassas de assentamento e reboco, e por fim, no alinhamento de pavimentos ou na proximidade de vãos de janelas e/ou portas e de varandas, por afixação de elementos metálicos e os respectivos escorrimentos que se concentram nessas áreas (Ferreira, 2009).

### **2.3.Fendilhação (azulejos, argamassas ou suportes)**

A fendilhação pode ser dividida em dois grupos: azulejo e argamassa de assentamento, suporte e argamassa de regularização. A fendilhação que ocorre no suporte e é reflectida no revestimento de azulejo tem uma pequena relação com a incompatibilidade

de materiais, enquanto a fendilhação que se verifica ao nível das juntas existentes no suporte pode estar relacionada com a simples inexistência de juntas construtivas, um deficiente cuidado na pormenorização das zonas singulares do revestimento cerâmico e/ou por deformações excessivas ao nível do painel de revestimento tal como a fendilhação em zonas de concentração de tensões no suporte que podem ser provocadas por humidades ascensionais (Silvestre e Brito, 2008; Ferreira, 2009; Mariz, 2009).

Em Ovar em particular, os casos de fendilhação na sua maioria deve-se ao facto da utilização inadequada de materiais, como o cimento (incompatível com o suporte tipicamente existente), para a recolocação de azulejos, preenchimento de juntas e colmatação de falhas, e substituição de elementos arquitectónicos tradicionais (platibandas, colunas, cimalhas e socos) (Ferreira, 2009).

As fachadas orientadas a Sul implicam variações frequentes de ordem térmica, ao contrário das fachadas com orientação a Norte, as quais permanecem mais tempo húmidas (Mariz, 2009) o que promove maioritariamente variações de tensões e como consequência a fendilhação, ao nível do suporte como também do revestimento.



Figura 8. Fendilhação no azulejo e possivelmente na argamassa de assentamento.

## **2.4.Destacamento do vidroado**

O destacamento do vidroado é umas das anomalias mais frequente nas duas/três primeiras fiadas acima do soco, verificando-se uma menor incidência nas fiadas seguintes (Ferreira, 2009; Mariz, 2009), devido a esta área ser particularmente exposta a incidência directa da luz solar juntamente com uma elevada humidade ascensional. O factor humidade actuando ao mesmo tempo que as variações térmicas representa um ambiente favorável ao desenvolvimento de microrganismos e também absorção e difusão de sais solúveis,

promovendo dessa forma a degradação ao nível físico-químico dos materiais envolvidos (Ferreira, 2009). O nível de degradação do azulejo depende muito da ligação chacota/vidrado (formulação e temperatura de cozedura). Os azulejos normalmente apresentam a anomalia em causa ao longo dos bordos e não tão frequentemente no interior do azulejo, o que pode ser indicativo das variações térmicas associadas à ausência de juntas entre os azulejos, variações estas que as argamassas na maior parte das vezes não acompanham porque mantêm-se húmidas, e a cristalização de sais (Mariz, 2009).



Figura 9. Azulejos com destacamento de vidrado.

## 2.5. Biodegradação

O desenvolvimento de macrorganismos não é usual, no entanto, quando verificado associa-se ao abandono do edifício e à presença contínua e significativa de humidade no suporte, quer por meio da infiltração, da capilaridade do solo ou através das lacunas, fracturas e fissuras dos azulejos, onde a proliferação normalmente tem como consequência um agravamento do processo de degradação (Ferreira, 2009; Mariz, 2009).

Relativamente aos microrganismos, o processo de destacamento do vidrado relacionado com o desenvolvimento dos mesmos acontece com mais frequência nos vidrados que apresentam *craquelê* e nas juntas abertas, pois ambas as situações favorecem a acumulação e evaporação da água dentro das fendas ou juntas, e consequentemente, o progressivo e rápido desgaste e fragilização dos azulejos.



Os micros e macrorganismos provocam um aumento de retenção da humidade, logo, degradação ao nível físico-químico dos azulejos e argamassas de assentamento inclusive, além das tensões que provocam no revestimento (Ferreira, 2009).



Figura 10. Macrorganismos presentes na antiga *Pharmacia de J. J. S. Lamy*, em Ovar.



Figura 11. Colonização biológica na área de circulação de água e friso com *craquelê* e microrganismos.

## 2.6. Defeitos de vidragem

Tendo em atenção as anomalias, relativamente a este tema, mais comuns verificadas em Ovar, pode-se agrupar os defeitos de vidro em quatro grupos conforme o autor Biffi (Biffi, 1987) concluiu:

- Separação do esmalte (repelência);
- Incompatibilidade entre o vidro e a chacota (*craquelê*);
- Defeitos de superfície (picado, depressões);
- Defeitos cromáticos (manchas).

No que diz respeito à separação do esmalte, verificou-se alguns exemplares que apresentavam repelência. Esta pode parecer-se com o picado ao nível de anomalia do vidrado já que algumas repelências tem aspecto redondo e também ocorre de forma pontual e reduzida, no entanto, um olhar mais atento percebe-se que as repelências, ao contrário do picado, formam uma orla boleada e densa como se o esmalte tivesse se contraído sobre si próprio deixando a chacota a descoberto. Este fenómeno pode ocorrer devido a verificar-se uma excessiva tensão superficial do vidrado, aplicação de uma camada espessa de vidrado, presença de sais solúveis, manchas de gordura e outras sujidades que possam estar na pasta cerâmica (Biffi, 1987; Ferreira, 2009). O autor Biffi (Biffi, 1987) aponta ainda que o tipo e quantidade do material plástico presente no esmalte, o grau de aderência entre o esmalte e a chacota e a resistência em cru do esmalte também são factores que podem ter influência na ocorrência destes defeitos no vidrado, e corrobora a ideia que uma tensão excessiva na superfície do vidrado, incompatível com as tensões na chacota, pode ser a principal causa destas anomalias.

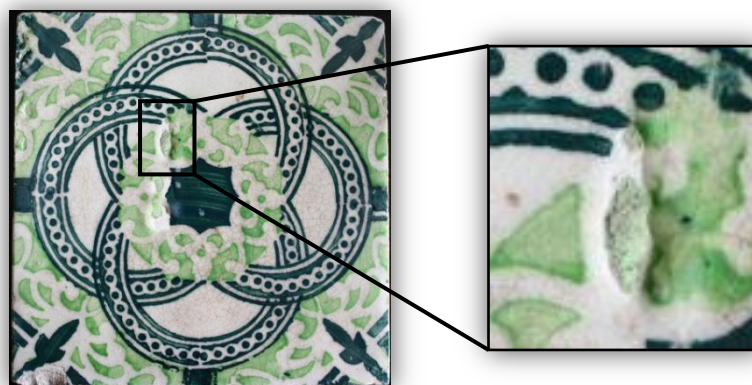


Figura 12. Repelência do esmalte.

No processo de fabrico dos azulejos, na fase de arrefecimento, se os coeficientes de expansão térmica, do vidrado e da chacota, forem sensivelmente diferentes entre si, no caso, o coeficiente de expansão térmica do vidrado será maior que o da chacota, originará então o designado *craquelê*, um estrangeirismo que pretende descrever a forma rendilhada e irregular das fissuras provocadas por esta incompatibilidade mecânica dos materiais. A autora Ferreira (Ferreira, 2009) defende que esta anomalia ao nível do vidrado promove a infiltração de água, que com ela transporta sais e promove também a biodegradação.



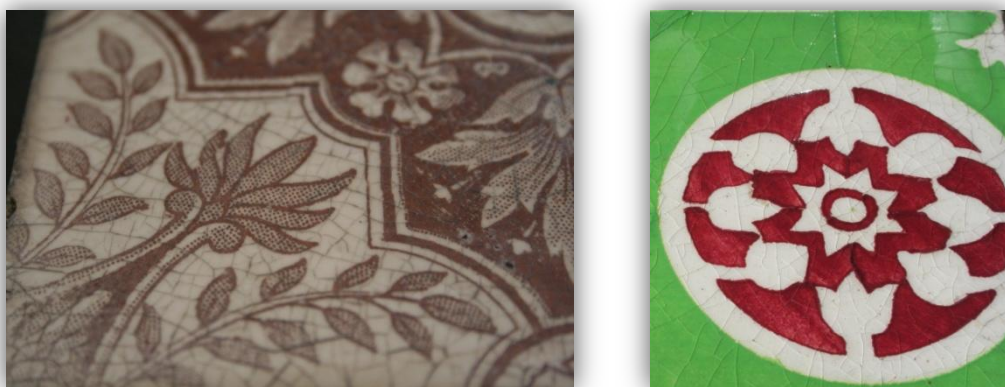


Figura 13. Azulejos apresentando *craquelê*.

A anomalia denominada como picado do vidrado é normalmente manifestada nos azulejos como uma baixa concentração de pequenos orifícios ou depressões que são o resultado de pequenas bolhas gasosas que afloraram à superfície do mesmo no momento da sua cozedura. A autora Ferreira (Ferreira, 2009) indica a possível razão do surgimento desta anomalia como sendo a elevada viscosidade e tensão do vidro, o que pode provocar dificuldades na libertação das bolhas gasosas durante a cozedura, fazendo com que o vidrado adquira então um aspecto de picado. Por outro lado, o autor Biffi (Biffi, 1987) defende que são preferíveis tensões superficiais do esmalte altas, já que desta forma as bolhas gasosas têm maior probabilidade de ser reabsorvidas na fase de arrefecimento. O mesmo autor refere inclusivamente algumas origens das bolhas gasosas formadas durante a cozedura do esmalte, e estas podem ter origem na fraca ligação realizada entre o esmalte e a chacota, adição de caulino no processo de fabrico da chacota, excesso de cozedura e presença de sais, afirmação igualmente corroborada pelo autor Fraser (Fraser, 1998) o qual refere os óxidos cobalto, ferro e especialmente zinco, manganês e níquel considerando-os como principais responsáveis por esta anomalia, e que ao terem sido usados em grandes quantidades na decoração, podem ter alterado o seu estado de oxidação durante a queima libertando então os gases que provocam as bolhas gasosas, este autor aponta ainda uma ultima razão que pode estar na origem das bolhas gasosas: óleos misturados nas cores utilizadas na decoração.

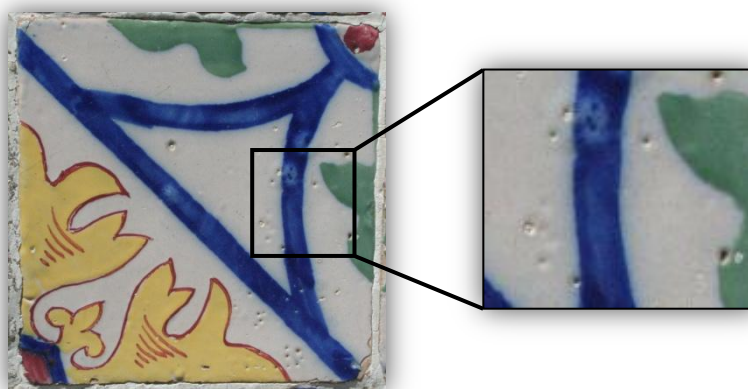


Figura 14. Picado verificado nos azulejos do processo n.º054.

Por fim, quanto aos defeitos cromáticos, a introdução de óxidos corantes, como o óxido de cromo, que estão sujeitos a fenómenos de volatilização, isto é, passar do estado sólido para gasoso, pode provocar manchas coradas no vidrado (Biffi, 1987). Temperaturas excessivas no cozimento do vidrado, pode dar origem a manchas amarelas resultantes de contaminações, principalmente se os vidrados conterem dióxido de titânio ou pequenas quantidades de chumbo (Ferreira, 2009). Segundo o autor Mariz (Mariz, 2009) as manchas esbranquiçadas que surgem entre o vidrado e a chacota, decorrem da circulação de humidade que transporta compostos pelas superfícies podendo sugerir que a aderência entre o esmalte e a chacota foi deficiente. Fraser (Fraser, 1998) por outro lado refere que estas manchas esbranquiçadas podem surgir quando o vidrado rico em ferro, bastante susceptível à cal, entra em contacto com teores de cal elevados, tendo por consequência um acentuado aclaramento das cores.

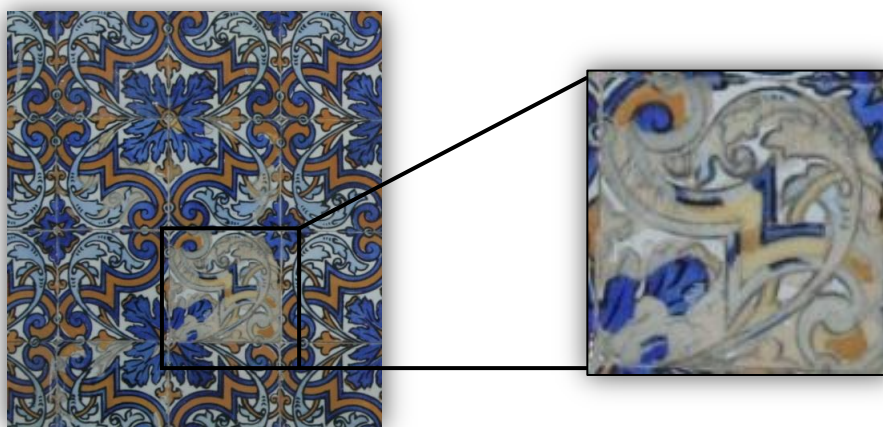


Figura 15. Manchas brancas em azulejos.

## 2.7.Eflorescências e criptoflorescências

Um grande número de materiais de construção possui na sua constituição sais que em contacto com a água se solubilizam, o mesmo acontecendo com os solos onde os edifícios são construídos, como é o caso em Ovar, em que o seu solo devido à proximidade ao mar possui sais solúveis, além de que provavelmente foram utilizadas areias da costa para a produção das argamassas utilizadas nas construções dos edifícios na cidade, assim é natural que haja fenómenos de eflorescências e criptoflorescências, que também podem ser agravados por outros factores, tais como o grau de exposição das fachadas à água, já que se as mesmas não fossem humedecidas os sais não migrariam para a superfície delas (Henriques, 1995).

As criptoflorescências ocorrem quando os sais solúveis não atingem a superfície exterior da fachada e cristalizam no seu interior incrementando as tensões nos materiais envolvidos, podendo até mesmo provocar desagregação das argamassas e da chacota dos azulejos e destacamento de vidrados, no caso dos revestimentos azulejares, geralmente os sais responsáveis por este tipo de manifestação são os cloretos (Ferreira, 2009). Por outro lado, as eflorescências envolvendo a mesma forma de ocorrência, os sais não cristalizam no interior do paramento, mas sim, quando no processo de evaporação da água infiltrada os sais atingem a superfície do paramento.

Um tipo de eflorescências é as chamadas concreções calcárias. Estas verificam-se sobretudo nas fachadas com orientação a sul e em zonas que a mesma está em contínuo contacto com água, geralmente nas zonas de escorrimentos, em que a água que se infiltrou de alguma forma no interior com a exposição solar é libertada por evaporação e neste processo arrasta consigo os carbonatos ou sulfatos de cálcio na sua composição manifestando-se então à superfície como concreções (Ferreira, 2009).

Segundo o autor Henriques (Henriques, 1995), no que diz respeito a sais solúveis presentes nos paramentos com origem na água ascensional do terreno, refere que ao existir quantidades consideráveis nitritos e nitratos nas argamassas provam a existência da sua fonte – água através do solo. É de referir também que o mesmo autor defende que se nas argamassas forem encontrados vestígios apenas de nitratos, sem nitritos, indicará que a fonte de alimentação se extinguiu à algum tempo, por outro lado, se se registar a presença de nitritos indicará o oposto, a fonte de alimentação mantêm-se activa, logo, as manifestações destes sais irá continuar a verificar-se. O mesmo autor defende que os sais

que geralmente estão relacionados com anomalias deste tipo são os sulfatos, carbonatos, cloretos, nitritos e nitratos, sendo que os dois primeiros não são higroscópicos, isto é, não absorvem humidade do ar logo não humedecem o material onde se encontram. Como a humidade relativa é uma variável, então os sais higroscópicos realizam ciclos de dissolução/cristalização, e são precisamente estes ciclos que provocam a desagregação dos materiais onde os sais estão presentes.

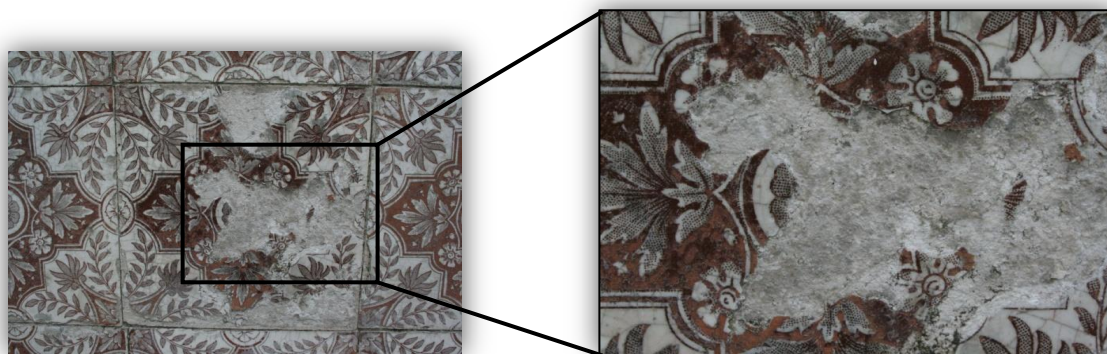


Figura 16. Pormenor de concreções calcárias.

## 2.8.Factores Antrópicos

Além das anomalias verificadas com maior regularidade nos azulejos e fachadas de Ovar devido principalmente ao método construtivo e tipo e qualidade dos materiais constituintes, existe a acção do homem que normalmente também contribui para a degradação do património azulejar de uma forma acelerada por colar cartazes nos azulejos, *graffiti*, cabos, caixas de electricidade e água, pregos, placas diversas, excesso de uso como turismo cultural, onde inclusivamente a Carta de Cracóvia alerta definindo-o como um risco, entre muitos outros. No tipo de degradação devido à acção do homem se inclui não só as alterações já referidas realizadas na fachada como também a ausência de intervenções, isto é, falta de manutenção e/ou desuso, mesmo em edifícios devolutos, geralmente, não há qualquer intervenção por parte das entidades competentes devido a não existirem orçamentos para tais acções (Rodríguez, 2001; Ferreira, 2009).



Figura 17. Acção do homem sobre fachadas azulejadas.



Figura 18. Edifício devoluto com macro organismos.





### 3. CARACTERIZAÇÃO DOS CONSTITUINTES ORIGINAIS

















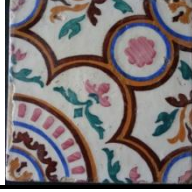

Neste capítulo será abordado a caracterização dos vários constituintes de uma típica fachada azulejar de Ovar, particularmente os azulejos oitocentistas, as argamassas utilizadas e as fachadas como um todo, referindo para cada um algumas propriedades conhecidas, tal como também, as exigências requeridas para um bom funcionamento do conjunto.

#### 3.1. Os azulejos de finais do século XIX de Ovar

A designação de “processo n.º X” corresponde à ordem dos projectos de conservação e restauro executados, e ao seu arquivamento após finalização, pelo Atelier de Conservação e Restauro de Azulejo da Câmara Municipal de Ovar. A referenciação está directamente relacionada com o endereço da moradia, por exemplo, a fachada pertencente ao processo n.º054 localiza-se na Rua Alexandre Herculano, n.º209, assim a sua referência é RAH209.

Tabela 1: Informação geral dos azulejos.

Processo n.º 010      Referência: RMA184  Marca: J.P.V. F  Fábrica de José Pereira Valente (Filhos)		
Processo n.º 020      Referência: REG Marca: VALENTE, Fº, FABRICA DE LOUÇA, Vª Nª GAYA  Fábrica de José Pereira Valente (Filhos)		
Processo n.º 024      Referência: RHS11  Marca: (sem marca)  Fábrica desconhecida		
Processo n.º 054      Referência: RAH209  Marca: (sem marca)  Fábrica desconhecida		 

<p>Processo n.º 066      Referência: RDC</p> <p>Marca: A A COSTA &amp; C, Fª DAS DEVEZAS</p> <p>Fábrica de Cerâmica das Devesas</p>				
<p>Processo n.º 069      Referência: RLC</p> <p>Marca: (sem marca)</p> <p>Fábrica desconhecida</p>				
<p>Processo n.º 076      Referência: RPF</p> <p>Marca: (sem marca)</p> <p>Fábrica desconhecida</p>				
<p>Processo n.º 086      Referência: SJO</p> <p>Marca: (sem marca)</p> <p>Fábrica desconhecida</p>				
<p>Processo n.º 087      Referência: RMA111</p> <p>Marca: VALENTE, Fº, FABRICA DE LOUÇA, Vª Nª GAYA</p> <p>Fábrica de José Pereira Valente (Filhos)</p>				
<p>Processo n.º 104      Referência: RCCB</p> <p>Marca: A A COSTA &amp; C, Fª DAS DEVEZAS</p> <p>Fábrica de Cerâmica das Devesas</p>				
<p>Processo n.º 127      Referência: RDS538</p> <p>Marca: A A COSTA &amp; C, Fª DAS DEVEZAS</p> <p>Fábrica de Cerâmica das Devesas</p>				
<p>Processo n.º 133      Referência: RDC15</p> <p>Marca: (sem marca)</p> <p>Fábrica desconhecida</p>				
<p>Processo n.º 147      Referência: RJF147</p> <p>Marca: A A COSTA &amp; C, Fª DAS DEVEZAS</p> <p>Fábrica de Cerâmica das Devesas</p>				



Há um predomínio da técnica de estampilhagem na decoração dos azulejos (Ferreira, 2009), no caso dos azulejos em estudo, apenas dois (processos n.º 020 e 087) foram decorados utilizando a técnica da estampagem.

A autora Valente (Valente, 2008) com base na norma ISO 10145, norma de ensaio para caracterização dos revestimentos cerâmicos, sintetizou numa única tabela (Tabela 2) as características exigidas para os mesmos.

Tabela 2: Características exigidas para revestimentos cerâmicos.

Características	
Dimensões e qualidade superficial	Comprimento e largura
	Espessura
	Rectinilidade das arestas
	Planaridade (curvatura e empeno)
	Qualidade superficial
Propriedades físicas	Absorção de água
	Resistência à flexão
	Módulo de ruptura
	Dilatação térmica linear
	Resistência ao choque térmico
	Resistência à fendilhação
	Resistência ao gelo
	Expansão por humidade
	Pequenas diferenças de cor
Propriedades químicas	Resistência às manchas
	Resistência a ácidos e bases em baixas concentrações
	Resistência a ácidos e bases em altas concentrações
	Resistência aos produtos químicos e aditivos para água de piscinas

No entanto, apenas no século XX, a partir da II Guerra Mundial é que houve necessidade de existir normalização ao nível nacional e internacional de forma a assegurar a intercambiabilidade de recursos (Vargas, 2006), logo, apesar de terem sido realizados alguns trabalhos de investigação no sentido de determinar as características de alguns dos azulejos referidos neste trabalho, na sua maioria é provável que não obedeçam a quaisquer limites impostos por normas respeitantes a cerâmicos, já que os mesmos são produções do final do século XIX.

### 3.1.1. Dimensões e qualidade superficial

As medidas mais comuns dos azulejos são 14,0 x 14,0 (cm), excepto alguns exemplares em tons de azul em fundo branco e com tardo liso, possivelmente pertencentes às primeiras produções da segunda metade do século XIX, as suas medidas variam entre 13,0 a 13,5cm, são também excepção, os azulejos biselados, como é o caso do processo n.º076, que possui medidas aproximadamente de 7,5 x 15,0cm. No presente trabalho não há qualquer azulejo pertencente à época de Arte Nova, que apresentem medidas entre os 15,0 a 16,0cm.

No geral, a espessura dos azulejos é de aproximadamente 0,8cm, apenas os azulejos referentes ao processo n.º 076 apresentam espessura de cerca de 1 cm, mostrando-se ser sempre mais espessos que o actual fabrico industrial dos mesmos. Apenas reproduções realizadas no Atelier de Conservação e Restauro de Azulejos de Ovar, de fabrico manual, apresentaram dimensões em tudo semelhantes às produções antigas.

O revestimento das paredes não deve apresentar defeitos ou singularidades na sua superfície, tais como: reentrância, saliências localizadas, fissuras, empolamentos, descolamentos nem pulverulência, ou seja, a superfície deve ser regular e uniforme (Lucas, 1990), e estas características estão directamente relacionadas com a qualidade superficial de cada elemento constituinte das fachadas azulejares.

A autora Ferreira (Ferreira, 2009) mostra, a partir do levantamento que fez na cidade de Ovar, que imperfeições na superfície dos azulejos promovem o deterioramento físico e químico dos mesmos, sendo algumas dessas imperfeições mais comuns e inclusivamente encontradas nos azulejos da Tabela 1, as seguintes: fendilhação, vitrado picado, alterações de brilho e cor, manchas e repelências, tendo sido já mencionado este tema, com fotos exemplificativas, no ponto 2.5 do presente trabalho.

Quanto à rectinilidade das arestas e a planaridade, dentro da Tabela 1, os azulejos pertencentes ao processo n.º024, Museu de Ovar, sendo que provavelmente são os mais antigos dentre os apresentados, são bastante grosseiros, com um traçado muito rústico, conforme comparação feita através da Figura 19, apresentando um empeno considerável e arestas não rectilíneas. Outros azulejos igualmente não planos e com falhas quanto à rectinilidade e planaridade, pertencem ao processo n.º076, provavelmente, por terem um formato diferente do vulgarmente utilizado na altura (Figura 20).



Figura 19. Tardoz processo n.º024 (à esquerda) e um exemplar de um tardoz usual da época, no caso, corresponde ao processo n.º086 (à direita).



Figura 20. Exemplares do processo n.º076.

No que diz respeito aos restantes azulejos, possuem arestas minimamente rectilíneas, normalmente as placas são planas, ou seja, sem empeno e a qualidade superficial é razoável. O ponto positivo relativamente aos azulejos pertencentes aos processos n.º 087 e 020 é a utilização da pasta de pó de pedra, já que é uma pasta sem ferro na sua constituição e com quartzo moído e prensado, o que contribuía para evitar os empenos (Ferreira, 2009).

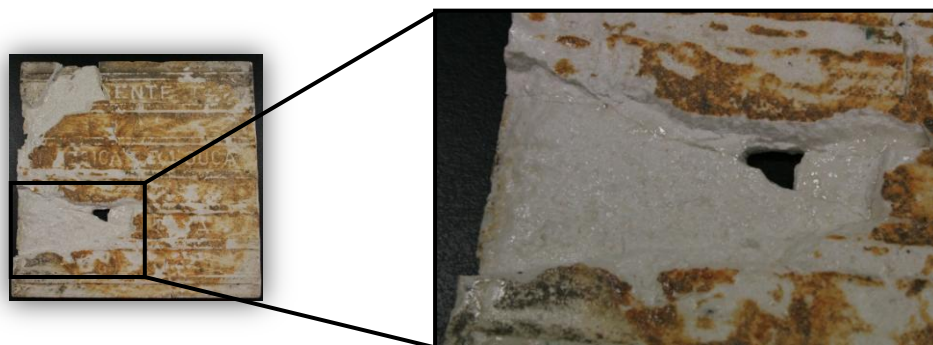




Figura 21. Comparação do tipo de chacota. Processo n.º087 (chacota branca) e processo n.º076 (chacota rosa).

### 3.1.2. Propriedades físicas

Os autores Lucas (Lucas, 1990) e Paiva e Veiga (Paiva e Veiga, 1996) defendem a importância da compatibilidade das propriedades físicas do revestimento e do suporte, nomeadamente o módulo de elasticidade e resistência à tracção, para que não ocorra degradação de um dos elementos constituintes ou até mesmo do conjunto, provocada por tensões internas devido a incompatibilidade de retracção dos materiais envolvidos.

Um outro estudo (Pinheiro, Lopes, et al., 2006) procedeu à análise das causas do descolamento de um revestimento cerâmico em fachadas. Deste estudo foi possível concluir que os principais factores que influenciam a aderência de revestimentos cerâmicos colados são as características físicas dos azulejos, as quais estão directamente relacionadas com as tensões transmitidas aos suportes por parte do conjunto dos mesmos, a acção da temperatura e humidade que afectam a resistência mecânica do sistema, e por último, a forma como foi aplicado o revestimento cerâmico. No entanto, a água é de uma relativa importância, no sentido que é necessária para a aderência ser conseguida pela penetração da água carregada de ligante, mas, os autores Paiva e Veiga (Paiva e Veiga, 1996) corroboram a ideia que realmente pode influenciar o tipo de aderência conseguida, já que se o suporte se encontrar humedecido em excesso esta ligação pode não ser realizada, de qualquer forma, refere que esta diminuição de aderência não deve ser muito sensível em alguns casos particulares, tais como para paramentos exteriores de paredes e/ou para interiores de espaços húmidos.

Dentre os azulejos apresentados (Tabela 1), foram realizados também alguns estudos correspondentes aos processos n.º 024, 066 e 104. Foi feita uma análise do sistema azulejo/argamassa quanto ao seu comportamento face à água (absorção de água por capilaridade e permeabilidade ao vapor de água, análise de sais) nos processos já referidos (Valente, 2008).

No que respeita aos azulejos, foi realizado um estudo em que é comparada a absorção de água por capilaridade de azulejos antigos, no entanto, devido ao número bastante diminuto de azulejos disponíveis para tal ensaio, apenas foi possível fazer a comparação entre dois (Valente, 2008), dando uma média de  $5,29 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{1/2}$ . Também foi feita uma comparação entre os azulejos novos e os antigos quanto à absorção máxima por capilaridade, concluindo que nos azulejos antigos a absorção é maior que nos novos, este facto pode ser verificado pela evolução que houve em relativamente pouco espaço de tempo ao nível do material constituinte, outra razão, prende-se com a possível degradação que possa ter ocorrido em alguns dos azulejos antigos. Quanto ao vapor de água, os resultados de um total de cinco amostras, a média da espessura de camada de ar é de 11,3m, no entanto, amostras comuns com o actual trabalho apenas se podem referir o processo n.º024 e 104. A espessura de camada de ar foi de 20,81m relativamente ao processo n.º024, quanto ao processo n.º104 obteve-se dois valores bastante distintos, 17,84m e 4,15m, esta variabilidade provavelmente está directamente ligada com a zona onde cada azulejo estava e o seu estado de conservação, nomeadamente no que se refere ao vidrado, já que o azulejo quando sofre degradação ao nível do vidrado apresenta uma permeabilidade muito próxima da argamassa, caso contrário, é muito menos permeável do que a mesma. É de interesse referir que o segundo valor corresponde a uma zona de destacamento, o que também poderá explicar a maior permeabilidade da amostra. No entanto, no seu conjunto, como os resultados foram muito variáveis, a única conclusão possível é que a justificação para esta variabilidade nos resultados do sistema seja a degradação diferencial que existe numa fachada (Valente, 2008). A percentagem de água presente tanto na argamassa como a que possa existir por capilaridade através do azulejo influencia o tipo de adesão argamassa/azulejo.

Num estudo feito por Amorós, Sánchez, Cantavella e Jarque (Amorós, Sánchez, et al., 2003) ficou provado que a resistência mecânica das peças cerâmicas, neste caso em particular, azulejos, muda significativamente após a saída do forno de secagem. Durante o

processo de secagem são produzidas tensões no interior das placas que posteriormente, após a saída do forno, relaxam, e é exactamente neste ponto que a resistência mecânica das peças é incrementada, no entanto, é de salientar que o aumento do teor de humidade em simultâneo provoca a diminuição da resistência mecânica. Ainda relativamente à resistência mecânica a autora Grun (Grun, 2007) realizou um estudo sobre misturas a ser usadas em cerâmica, donde conclui que uma peça de cerâmica sujeita a um processo de queima de 1200°C possui uma resistência mecânica superior ao de outra que apenas esteve sujeita a uma temperatura de 1000°C, apesar de uma temperatura baixa garantir a estabilidade dimensional da peça. No entanto, para uma mesma peça de cerâmica sujeita a 1000°C não significa que o seu comportamento mecânico melhore caso se aumente a temperatura para 1200°C.

### 3.1.3. Características químicas

A composição química dos azulejos é importante para que possa se formar um revestimento de qualidade e durável. No presente trabalho, como os conjuntos referidos são constituídos por materiais antigos é fundamental que se possa conhecer a sua composição química, porque é através deste conhecimento que se poderá utilizar materiais actuais, com características o mais próximo possíveis dos existentes nas fachadas antigas, no sentido de reabilitar, mantendo o valor histórico, inclusivamente ao nível de técnicas utilizadas para a aplicação dos mesmos, e preservar a “personalidade” de cada edifício, porque cada um é único, nunca subestimando a reversibilidade da reabilitação a realizar.

Azulejos cuja análise mineralógica revele valores percentuais elevados em sílica apresentam uma chacota mais dura, ao contrário de outros azulejos com percentagens de SiO<sub>2</sub> mais baixa que apresentam uma chacota mais macia. O autor Sanjad (Silva, Silva, et al., 2006) no âmbito de um estudo efectuado sobre composição mineralógica relativamente a azulejos alemães, franceses e portugueses dos finais do século XIX e início do século XX, concluiu que elevadas percentagens de SiO<sub>2</sub> juntamente com Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, indica que azulejos com esta constituição foram fabricados a partir de matéria-prima com carácter mais puro, constituída basicamente por caulino e quartzo, ao contrário de outros azulejos que apresentam valores percentuais de CaO elevados, que tal como a autora Grun (Grun, 2007) reitera, indica a presença de outros compostos como os carbonatos e óxidos e/ou

hidróxidos de ferro, os quais segundo a mesma autora tendem a diminuir a refractariedade das peças.

Os azulejos ricos em  $\text{SiO}_2$ , possuem valores muito baixos em fundentes, sendo eles os óxidos de magnésio ( $\text{MgO}$ ), manganês ( $\text{MnO}$ ), cálcio ( $\text{CaO}$ ), potássico ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ). A alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) é um composto utilizado não só para controlar a viscosidade do vidrado para que este não escorra pelas laterais da peça ao se fundir, como também, para aumentar a temperatura de queima tanto das argilas como dos vidrados (Rossi, 1999).

Destacam-se portanto, dois tipos fundamentais de chacota: com base em argila e com base em pó de pedra.

O autor (Hu , Li, et al., 2008) mostra que uma percentagem de óxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) entre 4-6% provoca um aumento de módulo elástico, resistência à flexão e tenacidade à fractura, no entanto, valores acima dos referidos anteriormente provocam uma diminuição das características mencionadas, ou seja, óxido de titânio em excesso é uma clara desvantagem para a peça cerâmica. Também, concluiu no mesmo estudo que quanto maior a quantidade de óxido de titânio maior o coeficiente de expansão térmica. Segundo Grun (Grun, 2007) apesar de ser essencialmente o  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  o responsável pela tonalidade vermelha que as chacotas apresentam, refere que a percentagem presente de  $\text{TiO}_2$  também influencia, isto é, uma maior percentagem deste composto intensifica a cor já obtida pela presença de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

### 3.2. Caracterização das argamassas de finais do século XIX em Ovar

A camada sacrificial nas fachadas em estudo é constituída pelos azulejos, no entanto, este facto não desvaloriza as várias camadas de argamassa utilizadas, já que as mesmas são a ponte de ligação entre o azulejo e o suporte. Assim, deste modo, é de grande importância o conhecimento relativo às principais características das argamassas pré-existentes, no sentido de garantir a compatibilidade entre estas e as argamassas de substituição, e também, dessa forma é possível garantir que as de substituição sejam relativamente resistentes, duráveis (e que contribuam para a durabilidade do conjunto) e reversíveis. O objectivo primário das argamassas de substituição é preservar, proteger e perpetuar as técnicas e os materiais das paredes sobre as quais irão ser aplicados, sendo o objectivo principal: não contribuir para a degradação dos elementos já existentes (Veiga e Carvalho, 2002; Teixeira, 2008; Ferreira, 2009).

Para poder desempenhar a sua função protectora, o revestimento composto pelas várias camadas de argamassa que possam ser aplicadas, devem ter resistência mecânica suficiente, ser minimamente deformáveis, apresentar impermeabilidade suficiente, isto é, devem impedir que a água atinja o suporte e também favorecer a evaporação da água absorvida, e por fim, ter um bom comportamento aos sais (Lucas, 1990; Veiga e Carvalho, 2002; Ferreira, 2009).

De forma sucinta, a Tabela 3 apresenta as principais características das argamassas de substituição, que devem ser semelhantes às argamassas pré-existentes.

Tabela 3: Principais características a serem observadas nas argamassas de substituição (Teixeira, 2008).

Características	
Propriedades físicas	Coefficiente de capilaridade
	Permeabilidade ao vapor de água
Propriedades mecânicas	Resistência à tracção
	Resistência à compressão
	Resistência à flexão
	Módulo de elasticidade
	Aderência ao suporte
Propriedades químicas	Limitação do teor de sais solúveis
	Resistência a sais solúveis



A argamassa de cimento apesar de ter características adequadas para várias aplicações, não é recomendada para uso em edifícios antigos já que possuem insuficiente permeabilidade ao vapor de água, elevado módulo de elasticidade e a presença de hidróxidos alcalinos que reagindo com as soluções salinas, presentes em grande parte dos edifícios, que penetram por capilaridade através do solo (Margalha , Veiga, et al., 2006), originando sais solúveis os quais posteriormente procederão varias anomalias, e com os quais é necessário um cuidado redobrado tendo em conta a proximidade da cidade de Ovar ao mar (Ferreira, 2009).

Assim, é essencial que as características da argamassa de substituição sejam as mais próximas das características da alvenaria do edifício, minimizando assim as tensões que se podem criar promovidas por módulos de elasticidade e coeficientes de dilatação térmica e higrométrica diferentes, suporte/argamassa, entre outros fenómenos, tais como a desagregação, a fendilhação ou o destacamento das argamassas e dos azulejos. O referido também deve ser tido em conta não só em relação ao suporte/argamassa mas também azulejo/argamassa, os quais devem ter um bom nível de compatibilidade entre materiais (Ozkahraman e IsIk, 2005; Ferreira, 2009).

A argamassa de cal é, sem dúvida, a recomendada como argamassa de substituição (Veiga e Carvalho, 2002; Durbin, 2005; Teixeira, 2008; Ferreira, 2009).

A autora Ferreira (Ferreira, 2009) faz referência a algumas vantagens da argamassa de cal/areia, sendo as principais o bom comportamento à água devido à elevada porosidade apresentada pelas argamassas estudadas, apresentam uma boa permeabilidade ao vapor de água o que facilita a secagem do suporte e as características mecânicas da argamassa, como o lento endurecimento, grande deformabilidade, baixo módulo de elasticidade, o que permite o acompanhamento das variações higrométricas do suporte sem provocar tensões significativas no mesmo.

A título de quantificação das características das argamassas de substituição, na Tabela 4 é possível verificar os requisitos mínimos das principais características.

Tabela 4: Quadro resumo dos requisitos que devem ser observados pelas argamassas de substituição (Veiga , Aguiar, et al., 2001; Veiga e Carvalho, 2002)

Argamassas	Características mecânicas aos 90 dias (MPa)			Aderência aos 90 dias (MPa)	Comportamento à água	
	R <sub>t</sub>	R <sub>c</sub>	E		S <sub>D</sub> (m)	C (kg/m <sup>2</sup> .h <sup>1/2</sup> )
Reboco exterior	0,2-0,7	0,4-2,5	2000-5000	0,1-0,3 ou com ruptura coesiva pelo bloco	<0,08	>8 e <12
Reboco interior	0,2-0,7	0,4-2,5	2000-5000	0,1-0,3 ou com ruptura coesiva pelo bloco	<0,10	-

A camada de argamassa original, normalmente não se refere a uma camada singular, mas, a várias subcamadas, no caso particular de Ovar, pode-se verificar até três subcamadas numa fachada. Facto este justificado essencialmente pelas diferenças físicas entre as argamassas constituintes dessas mesmas camadas, que por uma questão de protecção, durabilidade e para correcto funcionamento do conjunto final devem ser diferentes principalmente na permeabilidade ao vapor de água, para que a camada mais interior seja menos permeável mas a exterior seja mais, com o intuito de permitir uma rápida secagem do conjunto.

Outras características das argamassas também poderão estimular a entrada de agentes que provocarão a deterioração dos materiais que as mesmas estão a proteger, daí haver necessidade de conhecer as características da argamassa utilizada e da de substituição utilizada na reabilitação dos edifícios, para não promover de forma alguma o processo deterioração dos materiais que supostamente estão protegidos pela camada protectora de argamassa (Palomo , Blanco-Varela, et al., 2002).

Na cidade de Ovar, os suportes das fachadas são constituídos por xisto, originário da mesma zona, e argamassa, tal como se pode confirmar através das Figura 22 e Figura 23, constituída por cal e areia média/grossa. Assim, aquando da necessidade de substituição de reboco e/ou aplicação/recolocação de azulejos, foi utilizada argamassa de cal aérea hidratada e areia de granulometria média, com traço 1:3, sendo esta a qual possui características mais próximas das argamassas originais da zona, sempre com o objectivo, como já referido anteriormente, de preservar e proteger os materiais envolvidos e as técnicas utilizadas na época (Ferreira, 2009).



Figura 22. Suportes, referentes aos processos n.º 069 e 087, em xisto e argamassa de cal e areia média/grossa (Ferreira, 2005; 2006).



Figura 23. Suporte, referente ao processo n.º 086, com recolocação dos azulejos com argamassa de substituição (Ferreira, 2006).

### 3.2.1. Características físicas

O conhecimento do comportamento das argamassas face à presença de água é bastante útil, já que a mesma é um dos principais factores que despoletam graves anomalias nas fachadas, tendo sido este tema abordado no capítulo 2.1.

As formas mais comuns de penetração de água nas fachadas são através das juntas em mau estado de conservação, azulejos fissurados e/ou até mesmo a ausência dos mesmos e elementos construtivos mal executados ou também em mau estado de conservação (Rodríguez, 2001).

Relativamente à permeabilidade de vapor de água nas argamassas antigas, foi realizado um estudo (Valente, 2008) do qual foi possível verificar que das argamassas

estudadas os valores da permeabilidade ou espessura de camada de ar, são muito próximos, resultando uma média de aproximadamente 1,0m de espessura de camada de ar, ou seja, bastante permeável, tendo como comparação os resultados obtidos da análise dos azulejos no capítulo 3.1.2. Os autores Guerreiro, Henriques e Pinto (Guerreiro , Henriques, et al., 2007) comprovaram que há um aumento da espessura da camada de ar dos provetes ensaiados aos 60 dias e aos 120 dias, ou seja, há uma diminuição da permeabilidade ao vapor de água ao longo do tempo. Dai, ser importante que a característica – permeabilidade ao vapor de água – aumente ao longo das camadas de argamassa, de dentro para fora, para que a parede possa realizar a própria ventilação adequadamente e consequentemente retarde a sua degradação.

Quanto à absorção por capilaridade já foram realizadas algumas investigações com argamassas semelhantes às referidas neste trabalho. Os autores Guerreiro, Henriques e Pinto (Guerreiro , Henriques, et al., 2007) avaliaram o coeficiente de capilaridade de uma argamassa de cal aérea, com traço 1:3, em dois momentos distintos, aos 60 dias e aos 120 dias, donde se obtiveram os coeficientes de capilaridade de  $0,287 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$  e  $0,255 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$ , respectivamente. No mesmo sentido, os autores Magalhães e Veiga (Magalhães e Veiga, 2009) com o objectivo de estabelecerem uma relação entre as principais características das argamassas e o seu estado de conservação determinaram o coeficiente de capilaridade de algumas argamassas com cal (apenas três relevantes para referência no presente trabalho como termo de comparação) variando o tipo de areia utilizado mas mantendo o traço de 1:3, obtendo-se assim os seguintes valores:  $0,212 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$ ,  $0,203 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$  e  $0,182 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$ . Os autores Margalha, Veiga e Brito (Margalha , Veiga, et al., 2006) realizaram um estudo sobre o uso da cal, no qual determinaram o coeficiente de capilaridade de uma argamassa de cal aérea com traço 1:3 de  $0,212 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$ . Também, um estudo realizado pela autora Veiga (Veiga, 2005) sobre o comportamento de vários tipos de argamassas com diferentes constituições, determinou para uma argamassa semelhante às referidas anteriormente, um coeficiente de capilaridade de  $0,168 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$ . Por último, o estudo da autora Ferreira (Ferreira, 2009) em que os objectos de estudo foram precisamente argamassas de fachadas de Ovar de onde resultaram os valores  $0,213 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$ ,  $0,392 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$ ,  $0,258 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$ ,  $0,129 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$  e  $0,151 \text{ kg/m}^2.\text{s}^{1/2}$ , dos quais os primeiros três valores correspondem às referências RAH209, RJF e RMA,

respectivamente. Assim sendo, determinou-se um valor médio de  $0,222 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$  para o coeficiente de capilaridade das argamassas antigas constituídas por cal e areia média.

Quando o estado de degradação de uma argamassa aumenta o seu coeficiente de capilaridade também é maior (Magalhães e Veiga, 2009).

### 3.2.2. Características mecânicas

Se argamassa de cal possuir a correcta proporção de cal e areia as propriedades mecânicas serão compatíveis com o revestimento cerâmico, já que se instalam tensões baixas permitindo assim a reversibilidade na reabilitação de fachadas (Durbin, 2005).

O autor Teixeira (Teixeira, 2008) com o objectivo de caracterizar as argamassas de algumas fachadas em Ovar realizou ensaios de ultra sons de duas formas diferentes: transversal e longitudinal, para determinar o módulo de elasticidade das mesmas, concluindo que os resultados mais fiáveis foram os obtidos através da medição longitudinal para o tipo de argamassas em questão. Desta forma, os resultados obtidos para o módulo de elasticidade médio encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5: Módulo de elasticidade de argamassas de fachadas em Ovar (Teixeira, 2008).

Referência	E <sub>din</sub> médio (MPa)
RHS11	1250
VO <sup>1</sup>	2338
RJF147	1785
RCCB	1593
RDC	1489
DAS <sup>1</sup>	1206

<sup>1</sup> – Referência com correspondência a processo inexistente no presente trabalho, valor contabilizado para comparação.

Inclusivamente, o mesmo autor formulou uma nova argamassa de substituição e determinou o seu módulo de elasticidade, obtendo assim pelo método de frequência de ressonância, 2970MPa e 2995MPa, aos 28 dias e aos 90 dias, respectivamente, e pelo método de ultra sons, 3092MPa e 2570MPa, aos 28 dias e aos 90 dias, respectivamente (Teixeira, 2008).

Os autores Guerreiro, Henriques e Pinto (Guerreiro , Henriques, et al., 2007), Marques (Marques, 2005), Veiga (Veiga, 2005) e Miguel (Miguel, 2008) também

determinaram o módulo de elasticidade dinâmico de argamassas com formulação comparável à referida no presente trabalho e que se encontram na Tabela 6, na qual se torna evidente, comparando com a Tabela 5, que o módulo de elasticidade das argamassas recentes tende a ser bastante superior ao das argamassas antigas, no entanto, sempre dentro do intervalo dado na Tabela 4.

Tabela 6: Módulos de elasticidade dinâmicos de argamassas de cal recentes.

<b>E<sub>din</sub> (MPa)</b>
2350 (aos 60 dias)
2230 (aos 120 dias)
4435
4098
4157

Os autores Guerreiro, Henriques e Pinto (Guerreiro , Henriques, et al., 2007) corroboram a ideia de que as argamassas de substituição devem possuir valores de módulo de elasticidade semelhantes às argamassas antigas, indicando um intervalo de valores apropriados para garantir compatibilidade de materiais, variando este entre 1800MPa a 2400MPa.

No que diz respeito a resistência à compressão, vários estudos fizeram este tipo de análise, devolvendo valores tais que concentrando num único valor médio tem-se 1,37MPa, tendo uma ligeira variação do valor médio dado no caso de a argamassa ser ensaiada aos 28, 60 ou 90 dias. As mesmas fontes fornecem também resultados relativamente à resistência à flexão e tracção, resultando em valores médios de 0,56MPa e 0,28MPa, respectivamente (Velosa e Veiga, 2002; Marques, 2005; Veiga, 2005; Margalha , Veiga, et al., 2006; Guerreiro , Henriques, et al., 2007; Miguel, 2008). A autora Ribeiro (Ribeiro, 2011) numa pesquisa realizada sobre as fachadas de Ovar determinou valores de compressão de algumas argamassas obtendo valores na ordem dos 1,1MPa e 2,4MPa, que na presente dissertação corresponde aos processos n.º024 e 054, respectivamente.

Quanto à resistência à tracção de uma argamassa está directamente relacionada com a coesão em estado fresco da mesma, já que a coesão pode-se traduzir por um estado de tensão e o qual está relacionado com a quantidade de água que foi adicionada e a granulometria da areia utilizada, ou superfície específica de sólidos (Rago e Cincotto, 1999).

A autora Veiga realizou um trabalho de forma a caracterizar as exigências para rebocos antigos e num ensaio de aderência ao suporte concluiu que numa argamassa apenas de cal e areia a ligação ao suporte, representado por tijolo cerâmico e não as condições reais, tal como no presente trabalho, era muito fraca ou insuficiente (Veiga, 2005).

Relativamente aos casos apresentados na Tabela 1, a autora Ribeiro (Ribeiro, 2011) efectuou pesquisa neste campo, do qual resultou a Tabela 7 condensada sobre o tipo de aderência da argamassa original ao suporte e ao azulejo.

Tabela 7: Tipo de aderência nas fachadas de Ovar (Ribeiro, 2011).

Proc. n.º	010	020	024	054	066	069	076	086	087	104	127	133	147
<b>A/A</b>	☐	☐	☐	☐☐☐	☐	☐☐☐	☐☐☐	☐☐☐	☐	☐☐☐	☐☐☐	☐	☐
<b>A/S</b>	☐☐☐	☐	☐	☐☐☐	☐☐☐	☐	☐	☐☐☐	☐	☐☐☐	☐☐☐	☐☐☐	☐☐☐
<b>Coesão</b>	☐☐☐	☐	☐☐☐	☐☐☐	☐☐☐	☐☐☐	☐☐☐	☐☐☐	☐	☐☐☐	☐☐☐	☐	☐☐☐

**Legenda:**

A/A	Aderência entre argamassa/azulejo	☐	Má aderência
A/S	Aderência entre argamassa/suporte	☐☐☐	Boa aderência
Coesão	Coesão da argamassa		

Através da análise da tabela resumo feita pela autora Ribeiro (Ribeiro, 2011) é possível verificar que os conjuntos com melhor comportamento ao nível da aderência entre materiais correspondem às fachadas constituídas por argamassas avermelhadas com granulometria de carácter médio, ao contrário dos conjuntos que no geral apresentam características mecânicas inferiores às referidas anteriormente e que são constituídas por granulometrias mais finas ou emboço de granulometria fina e assentamento com granulometria grossa.

### 3.2.3. Características químicas

É importante limitar o teor de sais nas paredes antigas, uma das formas de o fazer é por controlar os novos materiais utilizados nas reabilitações, nomeadamente o cimento e a cal hidráulica, os quais normalmente possuem por natureza sais solúveis em quantidades significativas. As argamassas de substituição a utilizar devem resistir aos sais solúveis, mas

por outro lado, devem ser porosas o suficiente para que os mesmos não cristalizem no interior provocando um incremento de tensões do material (Veiga e Carvalho, 2002).

Os autores Ozkahraman e IsIk (Ozkahraman e IsIk, 2005) concluíram que a capacidade de adesão argamassa/azulejo é afectada pela composição química e mineralógica dos dois materiais e que é possível relacionar a força de adesão entre argamassa e o azulejo com a composição mineralógica dos mesmos e também com a composição química. Os mesmos autores inferiram que elevadas percentagens de quartzo, ou sílica, e a presença de cálcio na argamassa aumentavam a força de adesão entre os dois materiais.

Na Tabela 8 pode-se constatar que as argamassas da zona de Ovar são geralmente bastante ricas em sílica, alumina e óxido de cálcio.

Tabela 8: Resultado da análise mineralógica de argamassas das fachadas correspondentes aos processos (Ferreira, 2009)

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I.
<b>RAH</b>	69,19%	6,55%	2,99%	0,20%	8,80%	0,31%	1,31%	0,18%	0,06%	9,30%
<b>RJF</b>	73,92%	8,47%	1,06%	0,16%	6,41%	0,10%	0,65%	0,10%	0,07%	8,30%
<b>RMA</b>	72,07%	4,85%	0,74%	0,16%	10,21%	0,24%	1,05%	0,09%	0,03%	9,70%

Ao nível da análise mineralógica a amostra RAH mostrou-se abundante em quartzo e calcite para além de possuir na sua composição também microlina, moscovite e caulinite (Ferreira, 2009).

Relativamente a outras duas amostras, processo n.º 024 e 104, foi verificado que as amostras possuem vestígios de halite indicando a presença de sais provenientes do mar, que no caso, se localiza a aproximadamente cinco quilómetros de Ovar, ou também, do rio Cáster que passa no centro da cidade (Valente, 2008), o que pode provocar o destacamento do vidro devido aos sais ou outros tipos de degradações inclusivamente ao nível da interface argamassa/azulejo.

O facto de surgir algumas análises com vestígios de cloro poderá estar relacionado com a proximidade da cidade ao mar, por outro lado, também segundo a autora Ferreira (Ferreira, 2009), havia edifícios que eram utilizados para o armazenamento de peixe ou sal, assim facilmente o suporte absorvia uma parte dessas substâncias.



### **3.3.Caracterização das fachadas**

Neste capítulo será feito uma caracterização geral das fachadas às quais pertencem os azulejos antigos utilizados nos ensaios. Uma característica comum a todas as fachadas é o facto de o seu suporte ser constituído por pedra de xisto e argamassa de cal e saibro, como já referido no capítulo anterior.

#### **3.3.1. Processo n.º024**

A moradia pertencente a este processo, com referência RHS11, é propriedade da Câmara Municipal de Ovar, actualmente utilizada como museu da cidade. A sua fachada está direccionada para sudeste e o padrão e tardoiz que a compõem estão ilustrados na Tabela 9, tal como diversas propriedades relevantes para o estudo. Estes azulejos, como pertencem aos primeiros azulejos produzidos na segunda metade do século XIX, possuem medidas mais pequenas que os restantes.



Torna-se eficaz mapear as anomalias da fachada, conforme ilustrado na Figura 24, sendo que desta forma pode-se ter uma visão geral da zona onde se encontram e qual a sua gravidade em termos da área abrangente da fachada.


**Legenda:**

	Azulejos trocados		Preenchimentos com cimento
	Lacunas de vidrados acentuados		Óxidos metálicos
	Lacuna de azulejos		Fissura
	Degradação de argamassas		

Figura 24. Mapeamento das anomalias da fachada do processo n.º024 (Ribeiro, 2011).

Tabela 9: Propriedades relevantes – Processo n.º024 (Teixeira, 2008; Valente, 2008).

Volume (mm <sup>3</sup> )		133 x 130 x (6±1)		 							
Quadrículas		Sem									
Área de quadrícula (mm <sup>2</sup> )		-									
Profundidade quadrículas do tardo (mm)		-									
Azulejo											
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I.
RHS11	44,41%	16,45%	3,09%	-	1,86%	26,18%	0,32%	1,39%	0,73%	0,19%	4,75%
C (Coeficiente de capilaridade) =					0,078 kg/m <sup>2</sup> .s <sup>1/2</sup>						
S <sub>D</sub> (Espessura de camada de ar) =					20,81 m						
Permeância ao vapor de água =					9,36 ng/m <sup>2</sup> .s.Pa						

Argamassa	
$S_D$ (Espessura de camada de ar) =	0,905 m
Permeância ao vapor de água =	211,5 ng/m <sup>2</sup> .s.Pa
Sais	0-500 mg/l de Cloretos
	<200 mg/l de Sulfatos
$E_{\text{médio}}$ (longitudinal) =	1250 MPa
Resistência à compressão médio =	1,05 MPa
Azulejo + Argamassa	
$S_D$ (Espessura de camada de ar) =	7,48 m
	1,25 m
	12,48 m
Permeância ao vapor de água =	26,04 ng/m <sup>2</sup> .s.Pa
	154,51 ng/m <sup>2</sup> .s.Pa
	15,61 ng/m <sup>2</sup> .s.Pa

É de salientar a ausência de quadrículas neste azulejo em particular, conforme se verifica na Tabela 9, já que este facto influencia o tipo de aderência, porque a área de contacto argamassa/azulejo fica reduzida em comparação com os azulejos que possuem quadrículas mais ou menos profundas e também a resistência a tensões de corte poderá diminuir na direcção paralela ao revestimento.

Quanto à variabilidade de resultados apresentados no que respeita ao conjunto azulejo/argamassa está relacionado com zona da fachada de onde terá sido feita a análise, dependendo estes valores do estado de conservação da zona, já que a degradação de uma fachada geralmente é diferencial e não homogénea.

### 3.3.2. Processo n.º086

O edifício relativo a este processo, com respectiva referência, SJO, é utilizado como habitação particular, orientada para noroeste. A Tabela 10 apresenta além das dimensões do azulejo, o padrão e o tipo de tardo constituinte do revestimento, enquanto a Figura 25 esquematiza o tipo de degradação verificada na fachada.




**Legenda:**

- |  |                                |  |                          |
|--|--------------------------------|--|--------------------------|
|  | Microrganismos                 |  | Azulejos em destacamento |
|  | Lacunas de vidradas acentuadas |  | Juntas abertas           |
|  | Craquelé                       |  |                          |

Figura 25. Mapeamento das anomalias verificadas na fachada – Processo n.º086 (Ribeiro, 2011).

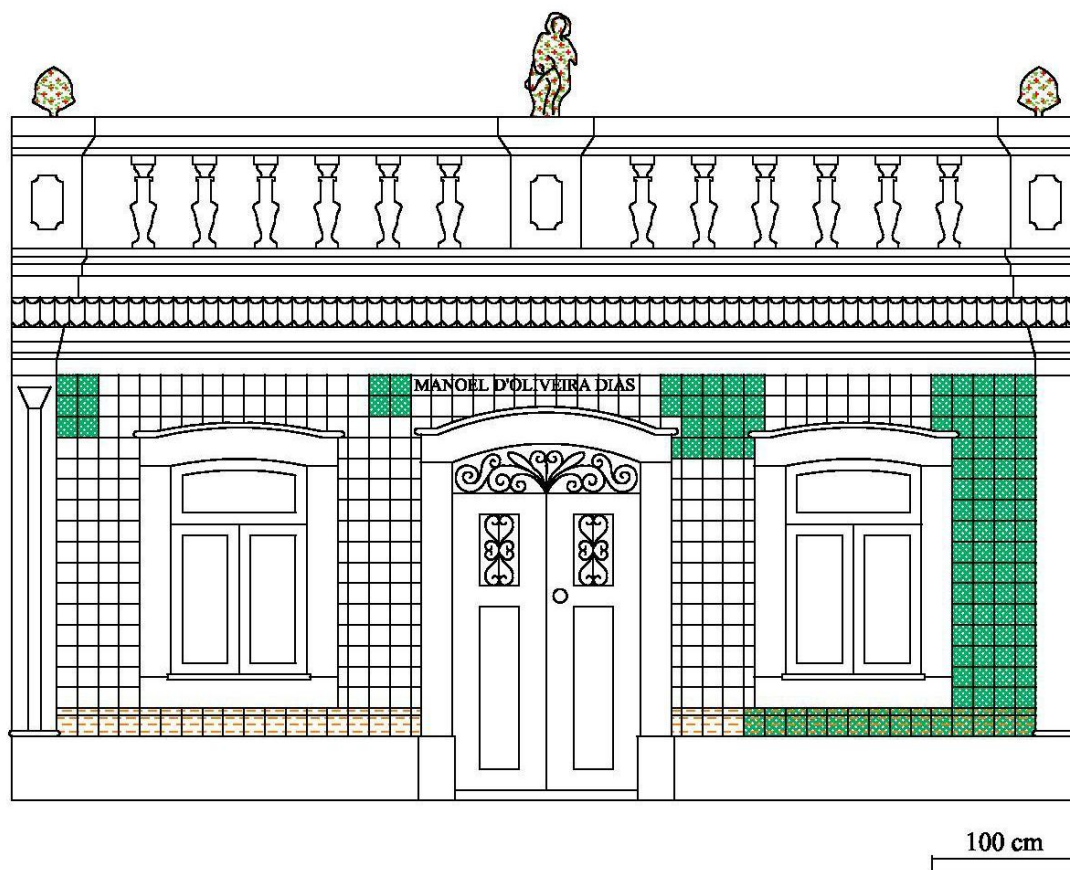
Tabela 10: Propriedades físicas relevantes – Processo n.º086.

Volume (mm <sup>3</sup> )		139 x 139 x 9									
Quadrículas		7 x 7									
Área de quadrícula (mm <sup>2</sup> )		14 x 14									
Profundidade quadrículas do tardoz (mm)		≈ 1									
Azulejo											
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I.
SJO	50,31%	20,49%	3,37%	0,04%	2,19%	19,31%	-	1,72%	1,02%	0,15%	1,53%

Este azulejo é mais rico em sílica e alumina e tem uma menor percentagem de fundentes do que os azulejos pertencentes aos processos n.º024 e 104.

### 3.3.3. Processo n.º104

Esta fachada orientada a sudeste, havendo a zona à direita da fachada, assinalada com cor verde na Figura 26, que se mantém à sombra durante o dia não permitindo assim a completa secagem da fachada nessa zona promovendo o destacamento dos azulejos, contribuindo para a degradação da ligação azulejo/argamassa e argamassa/suporte.





#### Legenda:

- |  |                                |  |                         |
|--|--------------------------------|--|-------------------------|
|  | Lacunas de vidradas acentuadas |  | Degradação generalizada |
|  | Depósitos superficiais         |  | Microrganismos          |

Figura 26. Mapeamento das anomalias de fachada – Processo n.º104 (Ribeiro, 2011).

Tabela 11: Propriedades relevantes dos elementos constituintes da fachada – Processo n.º104 (Teixeira, 2008; Valente, 2008)

Volume (mm <sup>3</sup> )		140 x 140 x 10									
Quadrículas		5 x 5									
Área de quadrícula (mm <sup>2</sup> )		20 x 20									
Profundidade quadrículas do tardez (mm)		≈ 2									
Azulejo											
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I.
RCCB	44,09%	16,22%	3,44%	0,03%	3,27%	24,52%	0,55%	1,57%	0,86%	0,15%	4,03%
C (Coeficiente de capilaridade) =						0,098 kg/m <sup>2</sup> .s <sup>1/2</sup>					
S <sub>D</sub> (Espessura de camada de ar) =						17,84 m (zona junto à cimalha)					
						4,15 m (zona junto ao soco)					
Permeância ao vapor de água =						46,82 ng/m <sup>2</sup> .s.Pa					
						10,92 ng/m <sup>2</sup> .s.Pa					
Argamassa											
S <sub>D</sub> (Espessura de camada de ar) =						0,75 m					
Permeância ao vapor de água =						264,54 ng/m <sup>2</sup> .s.Pa					
						249,71 ng/m <sup>2</sup> .s.Pa					
Sais						0-500 mg/l de Cloretos					
						<200 mg/l de Sulfatos					
						25 mg/l de Nitratos					
E <sub>médio</sub> (longitudinal) =						1593 MPa					
Resistência à compressão médio =						1,37 MPa					
Azulejo + Argamassa											
S <sub>D</sub> (Espessura de camada de ar) =						1,56 m					
						0,31 m					
						2,86 m					
Permeância ao vapor de água =						67,89 ng/m <sup>2</sup> .s.Pa					
						124,07 ng/m <sup>2</sup> .s.Pa					
						612,18 ng/m <sup>2</sup> .s.Pa					

O maior valor de permeância ao vapor de água no azulejo é devido ao avançado estado de degradação do mesmo, ao contrário do segundo valor apresentado, o qual foi obtido a partir de um azulejo menos degradado. A espessura de camada de ar do azulejo apresenta dois valores, o primeiro de 17,84m foi verificado numa zona superior da fachada, junto à cimalha, o segundo valor, de 4,15m foi obtido numa zona junto ao soco, zona esta onde se constatou a existência de humidades ascensionais e daí o destacamento de vidrado

exemplificado na Figura 26, o que por consequência se reflecte também na permeabilidade ao vapor de água como mostram os resultados apresentados na Tabela 11.



## 4. METODOLOGIA DE ENSAIOS

Neste capítulo são descritos os métodos que foram utilizados e as normas que serviram de base para a realização de ensaios, também será pormenorizado o processo de manufatura dos provetes que foram posteriormente utilizados nos ensaios.

### 4.1. Análise de FRX

A fluorescência de raios x consiste num feixe monocromático de raios x que é incidido numa amostra de pó, a incidência desse feixe promove a excitação da amostra possibilitando assim determinar os elementos presentes (Velosa, 2006).

A análise de FRX foi realizada sob amostras em pó da chacota dos azulejos, previamente limpos de qualquer resíduo de sujidade ou argamassa, havendo o cuidado de utilizar uma pedra de esmeril de forma a obter a amostra em pó reduzindo as danificações no azulejo ao mínimo possível.



Figura 27. Obtenção das amostras em pó dos azulejos.

## 4.2. Análise granulométrica da areia

A granulometria das areias utilizadas são importantes na medida em que quanto maior o teor em finos menor a sua resistência mecânica às solicitações que lhe possam ser impostas, assim para além de ser do interesse de neste estudo se utilizar nos ensaios areias com granulometria próxima das argamassas originais, também se obterá melhores resultados se o fuso granulométrico estiver relativamente centrado ou até mais à direita, o que implica granulometria média a grossa (Pereira, Camões, et al., 2010).

A análise granulométrica foi realizada com base na norma EN NP 933-1 (EN-933, 2000). Foi utilizada uma amostra cerca de 300g, a qual foi colocada na estufa a uma temperatura a rondar os  $100^{\circ}\text{C} \pm 10$  durante um período mínimo de 24h, após secagem foi retirada e pesada novamente, numa balança de precisão 0,01g, passando por um processo de lavagem com o auxílio do peneiro com abertura de 0,063mm (Figura 28). A amostra foi colocada de novo no forno nas mesmas condições já referidas.



Figura 28. a) Lavagem da areia; b) coluna de peneiração e agitador de peneiros; c) areia peneirada.

Quando seca foi efectuada uma nova pesagem, após a qual se fez passar a areia pelos vários peneiros com diferentes aberturas de malha, onde o que possui a malha mais larga estava na parte superior e os de malha mais justa na parte inferior, após passar 10

minutos no agitador de peneiros pesou-se o material retido em cada peneiro, resultando assim numa curva granulométrica que caracteriza a areia. Os peneiros utilizados na análise granulométrica pertencem à serie americana ASTM (American Society of Testing Materials).

### **4.3. Determinação da massa volúmica aparente da cal**

A massa volúmica aparente de um material define-se como sendo o quociente entre o peso do mesmo e o seu volume. Seguindo as indicações dadas pela Técnica responsável pelo laboratório do Departamento de Engenharia Civil, fez-se três medições do peso de cal contido num dado recipiente, havendo o cuidado de não provocar qualquer compactação no material por colocar dentro do mesmo a matéria-prima a partir de uma dada altura, depois verificou-se por três ensaios qual o volume de água que o recipiente comportava, daí foi calculado a média dos valores de peso da cal e volume de água. Fazendo a relação entre estes valores obteve-se o valor da massa volúmica aparente da cal utilizada nos ensaios.

### **4.4. Argamassa fresca – consistência por espalhamento**

O ensaio baseado na norma EN 1015-3(EN-1015, 1998) foi efectuado sempre que necessário, com o objectivo de avaliar a trabalhabilidade da argamassa fresca.

A superfície da mesa de espalhamento foi limpa, tal como o interior do molde, com um pano húmido. Verificou-se o funcionamento da mesa de espalhamento rodando a manivela algumas vezes. Colocou-se o molde tronco cónico no centro da mesa de espalhamento e introduziu-se no mesmo a argamassa fresca em duas camadas, cada uma compactada com pelo menos 10 pancadas com o auxílio de um pilão, assegurando assim um enchimento uniforme do molde. Seguido ao enchimento do molde, retirou-se o excesso de argamassa com uma colher de pedreiro e limpou-se a área livre da mesa. Após alguns segundos retirou-se cuidadosamente o molde e, rodando a manivela 15 vezes com uma frequência constante, espalhou-se a argamassa devido aos impactos verticais, através da elevação da mesa e da sua queda livre a determinada altura, medindo-se no final o diâmetro de espalhamento em duas direcções ortogonais, marcadas na mesa.

Os autores Rago e Cincotto (Rago e Cincotto, 1999) concluíram num estudo que realizaram, que além do teor em água, as características dos agregados que mais afectam a viscosidade são a dimensão e a forma da partícula, sendo a viscosidade traduzida por velocidade de deformação de um corpo – quanto maior a viscosidade, maior a consistência, mas menor será a trabalhabilidade.

Em argamassas de cal o intervalo de valores da fluidez varia entre 120 a 140mm para que se consiga obter resultados razoáveis relativamente às suas propriedades mecânicas durante o processo de carbonatação.

#### **4.5.Ensaio à flexão e compressão**

Para determinar a resistência à compressão e flexão da argamassa, foram realizados prismas de dimensões 160mm x 40mm x 40mm com base na norma EN 1015-11 (EN-1015, 1999). Os moldes utilizados foram limpos de quaisquer impurezas e lubrificados com um óleo descofrante para evitar a aderência da argamassa ao molde. Foi colocada argamassa fresca em duas camadas iguais, e cada uma compactada com pelo menos 25 pancadas com o auxílio de um pilão. O excesso de argamassa foi removido com a pá de pedreiro, deixando a superfície regular e nivelada com a altura do molde.

Os provetes foram mantidos a uma temperatura ambiente e humidade não controlada no laboratório de Engenharia Civil, de forma a aproximar as condições em que a argamassa era aplicada antigamente, em que claramente as condições não eram controladas em termos de temperatura e humidade.

Após dois dias de idade foram desmoldados e mantidos no mesmo local até ao momento do ensaio dos prismas.

##### **4.5.1. Resistência à tracção por flexão da argamassa**

Os provetes prismáticos, com pelo menos 28 dias de idade, foram ensaiados na prensa digital, conforme a Figura 29.



Figura 29. Prensa digital de ensaios CBR, Marshall e Triaxial do laboratório de Engenharia Civil. Ensaio de um provete à flexão.

A prensa possui três células de carga com capacidade de carga de 3kN, 10kN e 50kN. Tendo em conta a fraca resistência mecânica da argamassa de cal, considerando como referência para esta afirmação a argamassa de cimento Portland, utilizou-se a célula de carga que aplica no máximo até 3kN. Os provetes foram colocados centralmente em relação aos apoios inferiores que distam entre si de  $100\text{mm} \pm 0,5\text{mm}$  e ao apoio superior que fica centrado em relação aos inferiores. A carga foi então aplicada com uma velocidade constante de  $1\text{mm/min}$ , ou seja,  $27\text{ N/s}$ . Os valores são dados através do deflectómetro digital, as unidades é em milímetros. A resistência à flexão do provete é dada através da expressão (1).

$$f = 1,5 \times \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

Em que  $b$  e  $d$  correspondem às dimensões do provete em milímetros, largura e altura, que nos provetes correspondem a medidas iguais,  $l$  é o comprimento do provete, e  $F$  é a força aplicada ao provete. Segundo a norma EN 1015: Parte 11 (EN-1015, 1999) a resistência à flexão de cada provete deve ser registado com uma aproximação de  $0,05\text{ N/mm}^2$  e a sua média deve ser calculada com uma aproximação de  $0,1\text{ N/mm}^2$ .

#### 4.5.2. Resistência à compressão da argamassa

O ensaio à compressão foi realizado com base na norma EN 1015: Parte 11 (EN-1015, 1999), o equipamento utilizado foi a prensa utilizada para no ensaio à flexão, no entanto, com uma base diferente conforme a Figura 30, em que existem duas células de aço com medidas de 40mm x 40mm e uma espessura de 10mm. O provete é encaixado entre estas células e um pequeno cilindro de aço, o qual vai garantir que o provete fique na posição correcta para que a força seja aplicada de forma uniforme na área em contacto com as células.



Figura 30. Prensa digital de ensaios CBR, Marshall e Triaxial do laboratório de Engenharia Civil.

Tal como no ensaio de resistência à flexão, a célula de carga utilizada para o ensaio de resistência à compressão foi a que aplica até 3kN, velocidade também se manteve em 1mm/min, ou 27 N/s.

O valor de resistência à compressão de cada ensaio é obtido através da expressão (2).

$$R_c = \frac{F_c}{A} (N / mm^2) \quad (2)$$

Em que  $F_c$  é a força (N) aplicada na ruptura e  $A$  ( $mm^2$ ) é a área em contacto com as células de ensaio de aço que comprimem o provete.

#### 4.6. Aderência por corte

A aderência entre os materiais constituintes de uma fachada típica em Ovar é realmente importante, já que não é um sistema que atinge a estabilidade num curto prazo de tempo, muito pelo contrário, dependendo das condições externas (intempéries, secagem, localização na fachada, argamassa e grau de hidratação da mesma) e internas (composição, quantidade de ligante, método de aplicação do azulejo sobre a argamassa e/ou também relação água/ligante) a que possa estar sujeito vai variando o seu comportamento de uma forma evolutiva (Mansur e Mansur, 2011). Em particular, no sistema azulejo/argamassa, a Figura 31 exemplifica três esquemas de ruptura que também pode ocorrer no sistema argamassa/suporte, ocorrendo a a) por deficiente aderência entre argamassa/azulejo ou argamassa/suporte já que esta ruptura se dá pela interface, no esquema representado em b) a ruptura ocorre em parte no corpo da argamassa e numa interface designando-se como ruptura adesiva e coesiva, ao contrário do esquema exemplificativo em c) em que o tipo de coesão da argamassa, ou seja, as forças físicas de atracção entre as partículas de areia e as ligações químicas da cal (Santana, 2010), é que determina este modo de ruptura.

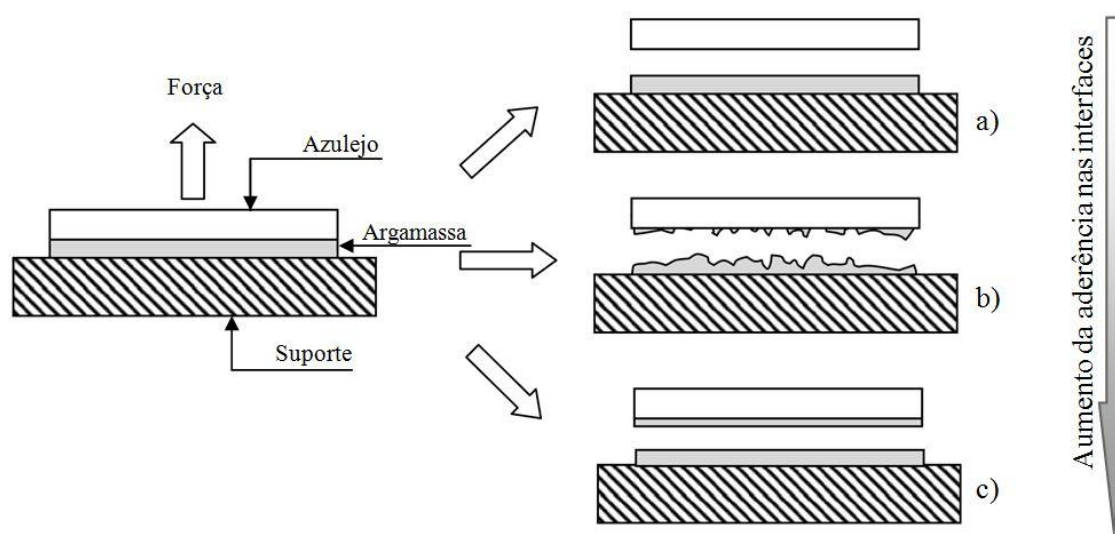


Figura 31. Modos de ruptura: a) ruptura adesiva argamassa/azulejo; b) ruptura adesiva e coesiva da argamassa; c) ruptura coesiva da argamassa (Mansur e Mansur, 2011).

Apesar de a Figura 31 exemplificar um ensaio de tracção no conjunto, os modos de rupturas exemplificados podem ser igualmente aplicados no presente trabalho, diferenciando quantitativamente a força aplicada, o ponto de aplicação e o tipo de tensões



que serão impostas aos provetes. No entanto, a aderência nas interfaces não irá depender exclusivamente do tipo de argamassa mas também do tipo de suporte e do azulejo que irá confinar a argamassa. Relativamente ao suporte, no caso o utilizado será o tijolo, de forma a permitir uma melhor aderência é recomendado que seja humedecido promovendo uma melhor ligação mecânica à argamassa, onde deverá ser aplicado uma camada intermédia que servirá como ponte de ligação entre os dois materiais, o chapisco, criando uma maior rugosidade que irá facilitar a aderência da argamassa de assentamento do azulejo (Veiga, 1998) .

O esquema produzido e posteriormente ensaiado foi realizado com base na norma MR14 da RILEM (MR14, 1994), conforme a Figura 33 exemplifica, de forma a obter-se o valor de aderência na interface argamassa/suporte e/ou argamassa/azulejo. Assim, um tijolo furado corrente com as medidas 30 x 20 x 7 (cm), ficou dividido em três partes com medidas 20 x 9 x 7 (cm), no entanto, para cada provete utilizaram-se apenas duas partes, ficando um calço de madeira com 1cm de altura a dividir os dois blocos. Usou-se um grampo para manter os três elementos o mais estável possível de forma a aplicar o chapisco num dos lados realizando um pré humedecimento dos elementos, e só após a colocação na mesa onde iriam secar à temperatura ambiente, é que foi retirado o grampo. Tiveram um período de secagem em média de 48h, após o qual era efectuado a formulação da argamassa de reboco, e com o auxílio de um esquadro de madeira com altura de 1cm e área correspondente à área do azulejo, era assente o azulejo centrado no lado do conjunto com um reboco de espessura aproximadamente de 1cm.



Figura 32. Aplicação de chapisco nos provetes, esquadro com 1cm de espessura para aplicação do reboco e provetes, respectivamente.

O processo repetiu-se para o outro lado do provete, em que de forma a atenuar excessos de tensões no primeiro assentamento realizado no provete, utilizou-se um esfregão verde sobre o qual se colocou o provete para a realização do segundo



assentamento, seguindo-se então, um processo de secagem de 28 dias a partir do assentamento do segundo azulejo. Após este período de tempo, foram levados a cabo os ensaios de determinação aproximada do valor da aderência por corte.

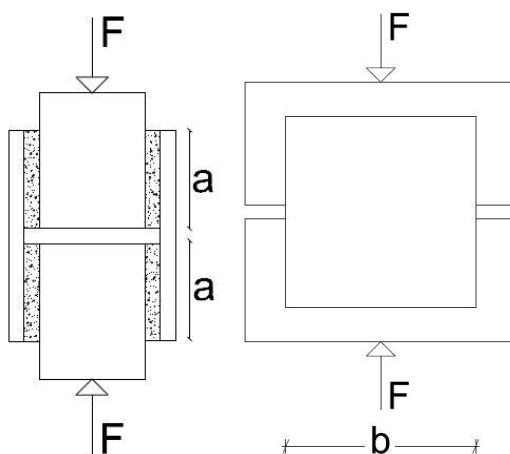


Figura 33. Esquema exemplificativo do ensaio ao corte com duas faces com azulejo (MR14, 1994).

Foi utilizada a prensa digital, a mesma utilizada para os ensaios de resistência à flexão e compressão. O ensaio foi realizado com uma velocidade de aproximadamente 1mm/min, ou seja, 27N/s, um valor ligeiramente superior ao valor normalizado de 20N/s. A força de corte em cada face será metade da carga máxima por milímetro de lado do azulejo, considerando que a carga aplicada é centrada e uniforme no provete, logo é igualmente distribuída pelos dois lados do mesmo. Para garantir esta condição foram colocadas duas barras de ferro, uma na zona inferior do provete e outra na zona superior do mesmo utilizando um esfregão entre o provete e as barras, de forma amortecer qualquer excesso de tensão entre os dois materiais, tijolo e ferro, e assim uniformizar a aplicação da força nas superfícies. Também foram aplicados, com sistema fixo de placas metálicas, sensores de deformação nas laterais do provete para conhecer a deformação devido à aplicação da força, inclusivamente, deformações diferenciais entre ambos os lados.



Figura 34. Esquema de ensaio dos provetes realizados.

O valor da tensão é obtido através da expressão (3).

$$\tau = \frac{F}{2ab} (N/mm^2) \quad (3)$$

O valor dado é relativo a cada face do provete, em que  $F$  é a força total aplicada,  $a$  é metade da medida do azulejo subtraído 1cm (do calço de madeira colocado entre os blocos cerâmicos) e  $b$  é a medida do lado do azulejo, assim,  $2ab$  é a área da interface sujeita ao esforço de corte. No entanto, na execução dos provetes o reboco foi aplicado em uma camada só, ou seja, não há interrupção no reboco conforme exemplificado na Figura 33, assim, o valor de  $a$  é igual ao de  $b$ .

Os sensores de deslocamento colocados nas laterais dos provetes registaram valores que permitem determinar a deformação específica que cada provete sofreu durante o ensaio.

## 5. DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS

No seguinte capítulo será feita uma descrição dos vários tipos de materiais utilizados para realizar os provetes que posteriormente foram ensaiados.

### 5.1. Agregados

Como já referido anteriormente, a dimensão do agregado tem influência nas propriedades da argamassa, não só afectando a estrutura da argamassa produzida como também afectando as características da sua aplicação (Durbin, 2005), assim é importante conhecer a granulometria do agregado, sendo esta a sua característica principal.

A areia utilizada na realização dos provetes é de granulometria média, no entanto, realizou-se um ensaio de análise granulométrica com o objectivo de conhecer com maior exactidão as percentagens dos vários tipos de dimensões de agregados que a constituem.

Na generalidade das areias naturais existe sempre uma percentagem de argila ou silte, se em pequena percentagem, como é o caso, vai contribuir para o melhoramento da trabalhabilidade da argamassa, em caso contrário, se existir em grande quantidade, vai promover a fissuração da argamassa (Hendry, Sinha, et al., 1997). As partículas com granulometrias maiores também são importantes na medida que contribuem para a estabilidade do volume da argamassa e dão um contributo positivo a longo prazo com o aumento da resistência, apesar de neste caso ser oportuna uma maior compactação de forma a reduzir os vazios e criar uma melhor ligação entre as partículas com maior granulometria e, no caso, a pasta de cal, aumentando a resistência das argamassas às intempéries já que a penetração de água fica reduzida (Stefanidou e Papayianni, 2005).

Relativamente ao presente trabalho, a caracterização do agregado é feito no capítulo 6, onde se localizam os resultados dos ensaios realizados sobre os materiais e provetes sujeitos a estudo.

### 5.2. Ligantes

Os ligantes são os materiais que tem a capacidade de aderir a outros. Os ligantes podem ser divididos em dois grandes grupos, os ligantes aéreos e os hidráulicos. A cal como material ligante também pode ser dividida em dois grupos semelhantes aos referidos

anteriormente: cal aérea e cal hidráulica. Esta diferença está associada à capacidade de fixar presa, no caso da cal hidráulica, abaixo de água, ao contrário da cal aérea, que necessita de contacto com dióxido de carbono para que fixe presa. Para a presente dissertação foi utilizada a cal aérea como ligante.

As cais são obtidas a partir da cozedura de calcários. A cal aérea resulta da decomposição, por acção de uma temperatura aproximadamente de 900°C, do carbonato de cálcio calcário calcinado (Paiva e Veiga, 1996; Valente, 2008).

A cal aérea ganha presa passando por duas fases distintas sendo a primeira fase é por evaporação da humidade que se encontra em excesso passando depois para a segunda fase em que então se dá a reacção com o dióxido de carbono presente no ar. A segunda fase pode variar quanto ao tempo que demora a ocorrer essa reacção, o que vai depender de vários factores, tais como a temperatura, a porosidade da pasta e a humidade da mesma, podendo até mesmo levar anos a completar-se a reacção de carbonatação (Miguel, 2008). Quando a pasta de cal aérea inicia o seu processo de secagem, ela retrai e fatura, logo uma forma de reduzir a retracção é adicionando areia à pasta melhorando assim o seu desempenho já que essa adição vai promover a divisão da pasta em pequenas fracções permitindo o contacto com o ar, logo, apressando a segunda fase, ou seja, a reacção com o dióxido de carbono presente no ar (Paiva e Veiga, 1996; Miguel, 2008). Além disso, existem outros factores que influenciam negativamente a retracção, aumentando-a, e com os quais é necessário ter o devido cuidado, é a grande velocidade e baixa humidade relativa do ar e também a temperatura elevada da argamassa (Veiga, 1998).

A massa volúmica aparente da cal utilizada no presente trabalho é de aproximadamente 536 g/dm<sup>3</sup>, conforme o resultado de três ensaios comprovaram.

### **5.3.Água de amassadura**

A água utilizada na formulação da argamassa de cal é tratada e distribuída pela rede de distribuição de água de Aveiro, a origem da mesma é o rio Vouga. Na Tabela 12 é apresentado os resultados de propriedades variáveis da água nos dois meses em que se realizou provetes.

Tabela 12: Propriedades da água da rede no reservatório principal (Carvoeiro, 2011).

	Setembro 2010	Março 2011
Alcalinidade ( $\text{CaCO}_3$ )	0,040 g/dm <sup>3</sup>	0.067 g/dm <sup>3</sup>
Nitratos ( $\text{NO}_3$ )	0.004 g/dm <sup>3</sup>	0.005 g/dm <sup>3</sup>

Estas propriedades influenciam a forma como a água faz a ligação de cal/areia e também a ligação argamassa/azulejo, assim, houve necessidade de limitar as quantidades máximas de impureza na água de amassadura, segundo o Decreto-Lei n.º 309/88, de 2 de Setembro, a água de amassadura não deve exceder 35 g/dm<sup>3</sup> em sais dissolvidos, valor este muito superior ao valor tabelado correspondente à água da rede, assim, a água utilizada foi adequada.

A quantidade de água utilizada na produção da argamassa foi definida com base no ensaio de consistência ao espalhamento.

## 5.4. Azulejos

### 5.4.1. Originais (Ovar)

Os azulejos de Ovar utilizados foram já descritos ao nível das suas características físicas, mecânicas e algumas análises químicas no capítulo 3.1, o resultado da análise de FRX relativamente a estes está apresentado no capítulo 6. Antes da sua utilização na realização dos provetes, os azulejos foram sujeitos a uma acção de limpeza do seu tardo, como mostra a Figura 35, com o objectivo de remover quaisquer resíduos de argamassas antigas que se tivessem mantido aderentes ao azulejo.



Figura 35. Limpeza do tardo.

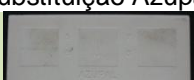
### 5.4.2. Substituição

Nas reabilitações de fachadas em Ovar foram necessárias réplicas dos originais de forma a colmatar lacunas ou mesmo substituir originais num avançado estado de degradação, e para diferentes fachadas houve alguma variação no fornecedor dos azulejos de substituição. Fábricas que forneceram até ao momento elementos de substituição foram a Azupal, Hcer e Primus Vitoria, também, o Atelier de Conservação e Restauro do Azulejo reproduziu alguns azulejos de substituição, no entanto, tendo em vista os materiais utilizados para realização dos provetes, apenas as três primeiras fábricas serão referidas nas secções seguintes.

#### 5.4.2.1. Azupal – Pombal

A fábrica Azupal, Pombal, chegou a reproduzir alguns azulejos de substituição, no entanto, foi por um curto período de tempo já que a mesma se deu por extinta, deixando de ser fornecidos azulejos para as obras de conservação em Ovar. A Tabela 13 mostra algumas características do azulejo desta fábrica nomeadamente nível de dimensões e análise química.

Tabela 13: Algumas propriedades de um azulejo de substituição Azupal.

Volume (mm <sup>3</sup> )		140 x 140 x 60									
Quadrículas		3 x 3									
Área de quadrícula (mm <sup>2</sup> )		30 x 30									
Profundidade quadrículas do tardoz (mm)		-									
Azulejo											
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I.
RMA184 RG	57,85%	21,27%	1,52%	0,01%	4,89%	11,93%	0,28%	1,30%	0,53%	0,06%	0,02%
RMA184 RL	56,70%	22,34%	1,34%	0,01%	4,90%	12,08%	0,26%	1,31%	0,49%	0,06%	0,18%


O tardo não possui quadrículas com profundidade, mas sim quadrículas com relevo, que ao ser tão pequeno não foi possível medir. As referências referem-se a dois tardos diferentes, um com aspecto mais granulado (RG) que o outro, que apresentou uma

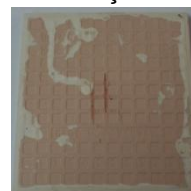
aparência mais lisa (RL), no entanto, apesar da diferença na referência, pode-se verificar que possuem uma diferença mínima ao nível da análise química.

#### 5.4.2.2. HCer

A fábrica HCer, localizada em Anadia, surgiu em 2007 exactamente com o objectivo de eliminar uma falha no mercado, começando a produzir azulejos para ateliers de pintura manual e empresas dedicadas à azulejaria tradicional, incluindo, para o Atelier de Conservação e Restauro do Azulejo em Ovar.

Tabela 14: Algumas propriedades de um azulejo de substituição HCer.

Volume (mm <sup>3</sup> )		140 x 140 x 6,5									
Quadrículas		12 x 12									
Área de quadrícula (mm <sup>2</sup> )		8 x 8									
Profundidade quadrículas do tardo (mm)		≈ 1									
											
Azulejo											
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I.
RCCB RH	68,82%	19,21%	1,22%	0,02%	0,29%	6,56%	0,88%	2,06%	0,33%	0,09%	0,09%




A análise química do azulejo é muito semelhante aos dos originais denominados azulejos pó de pedra já que os elementos têm valores de percentagens idênticas, excepto, o valor de óxido de cálcio, em que nos azulejos pó de pedra o valor ronda os 0,20% e no azulejo HCer aproxima-se dos 7%.

#### 5.4.2.3. Primus Vitoria

Fábrica localizada em Aradas, Aveiro, também forneceu alguns exemplares para substituir originais nas fachadas de Ovar. No entanto, ao nível de ensaios realizados no âmbito do presente trabalho, este tipo de azulejo apenas foi utilizado num provete com cimento juntamente com um azulejo da marca HCer.

Tabela 15: Algumas propriedades de um azulejo de substituição Primus Vitoria.

Volume (mm³)		140 x 140 x 6									
Quadrículas		68									
Área de quadrícula (mm²)		13 x 13									
Profundidade quadrículas do tardez (mm)		0,5									
Azulejo											
	SiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MnO	MgO	CaO	Na₂O	K₂O	TiO₂	P₂O₅	L.O.I.
RCCB RP	67,61%	18,50%	1,15%	0,03%	1,47%	7,28%	0,90%	2,12%	0,30%	0,15%	0,07%

A análise química deste é semelhante ao da marca HCer (Tabela 15), que por sua vez, é idêntica à dos azulejos pó de pedra, isto é, bastante ricos em sílica e com percentagens idênticas de alumina, mas no que se refere ao óxido de cálcio, tal como o azulejo HCer, este possui um valor superior, na ordem dos 7%.

## 5.5. Tijolos

Os tijolos furados correntes foram utilizados para simular o suporte, no entanto, a título de propriedades físicas, mecânicas e químicas, não é representativo do suporte original, constituído essencialmente por uma argamassa de cal e areia de saibro junto com xisto. Segundo os autores Guerreiro, Henriques e Pinto, o tijolo furado corrente é menos absorvente e mais liso, resultando por consequência numa redução da aderência argamassa/suporte (Guerreiro, Henriques, et al., 2007).

Para a realização de cada provete utilizou-se dois terços de um tijolo furado corrente 30 x 20 x 7 (cm), ou seja, duas partes de tijolo com medidas 9 x 20 x 7 (cm) cada, conforme mostra a Figura 36.



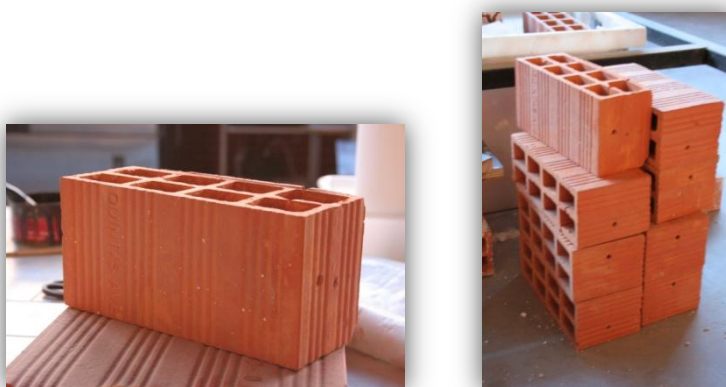


Figura 36. Partes de tijolo furado corrente utilizadas nos provetes.

Em cada parte foi feito um furo sensivelmente a meio da face lateral, nos dois lados, com o objectivo de posteriormente serem aplicados os apoios para os sensores de deslocamentos.



## 6. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo proceder-se-á à análise crítica dos resultados dos ensaios realizados sobre os materiais e provetes.

### 6.1. Análises dos Materiais

#### 6.1.1. Resultado da análise de FRX

##### 6.1.1.1. Azulejos de Ovar

Na Tabela 16 estão os resultados da análise de FRX relevantes para este trabalho com resultados dos azulejos originais de Ovar e de algumas reproduções, tendo sido colocado em evidência as principais diferenças ao nível químico entre os azulejos, ou seja, resultados que são, nalguns casos, com um valor percentual consideravelmente diferentes de um valor médio dos restantes.

Tabela 16: Resultados da análise de FRX dos azulejos originais e algumas reproduções.

Referências	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I.
RAH209 T1	44,23%	20,82%	3,75%	0,05%	5,25%	21,21%	0,02%	2,53%	0,81%	0,13%	1,20%
RAH209 T2	42,68%	20,01%	3,77%	0,05%	5,07%	22,42%	-	2,67%	0,81%	0,14%	2,41%
RDC	46,68%	16,55%	3,29%	0,04%	3,96%	20,97%	-	3,33%	0,76%	0,11%	4,36%
RPF	43,49%	17,82%	3,79%	0,05%	3,80%	25,99%	0,13%	2,20%	1,01%	0,17%	1,56%
RLC	43,38%	19,92%	3,56%	0,05%	5,88%	21,84%	0,12%	2,65%	0,78%	0,14%	1,68%
RMA	46,62%	17,83%	3,29%	0,04%	2,31%	22,59%	-	1,49%	0,99%	0,14%	4,82%
RMA111	63,51%	20,53%	0,57%	0,01%	0,15%	1,29%	-	1,36%	0,22%	0,09%	12,30%
RMA184	47,31%	17,42%	3,60%	0,04%	2,53%	22,17%	-	1,36%	1,07%	0,17%	4,41%
SJO	50,31%	20,49%	3,37%	0,04%	2,19%	19,31%	-	1,72%	1,02%	0,15%	1,53%
RCCB	44,09%	16,22%	3,44%	0,03%	3,27%	24,52%	0,55%	1,57%	0,86%	0,15%	4,03%
REG	70,65%	22,50%	0,70%	0,01%	0,23%	1,80%	0,38%	1,54%	0,26%	0,14%	1,08%
RDC15	43,71%	19,38%	3,55%	-	4,56%	22,00%	0,71%	1,48%	0,67%	0,16%	2,62%
RDS538	44,51%	17,17%	3,06%	-	5,54%	20,94%	0,65%	1,71%	0,66%	0,16%	4,87%
RHS11	44,41%	16,45%	3,09%	-	1,86%	26,18%	0,32%	1,39%	0,73%	0,19%	4,75%
RJF147	46,13%	16,46%	3,13%	-	2,81%	24,05%	0,48%	0,87%	0,79%	0,21%	4,36%

Referências	Reproduções										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	L.O.I.
<b>RCCB RH</b>	68,82%	19,21%	1,22%	0,02%	0,29%	6,56%	0,88%	2,06%	0,33%	0,09%	0,09%
<b>RCCB RP</b>	67,61%	18,50%	1,15%	0,03%	1,47%	7,28%	0,90%	2,12%	0,30%	0,15%	0,07%
<b>RMA184 RG</b>	57,85%	21,27%	1,52%	0,01%	4,89%	11,93%	0,28%	1,30%	0,53%	0,06%	0,02%
<b>RMA184 RL</b>	56,70%	22,34%	1,34%	0,01%	4,90%	12,08%	0,26%	1,31%	0,49%	0,06%	0,18%
<b>RPF Racra</b>	63,93%	22,81%	0,99%	-	0,30%	9,64%	0,08%	0,86%	0,43%	0,05%	0,23%

No que diz respeito às reproduções utilizadas nas obras de conservação realizadas, quer seja no preenchimento de lacunas quer seja na substituição de azulejos originais num avançado estado de degradação de tal forma que não podiam ser recolocados, a constituição ao nível químico das reproduções é razoavelmente uniforme, não apresentando variações percentuais tão acentuadas quanto é possível verificar em alguns azulejos originais.

Os processos n.º020 (Ref. REG) e 087 (Ref. RMA111) destacam-se dentre os demais por possuírem maior percentagem de sílica, SiO<sub>2</sub>, o que lhes proporciona uma maior resistência mecânica, tornando-se uma característica bastante importante quando a peça é manuseada ainda em cru, tornando a chacota mais dura (presente na forma de quartzo), com tonalidade branca e menos porosa que os outros azulejos, além de que valores altos de SiO<sub>2</sub> mantém constantes os valores de absorção de água. Pode, por outro lado, ser uma desvantagem quando durante o processo de queima ocorre alterações do tipo de quartzo presente, estando a peça sujeita à ocorrência de fissuração, e inclusivamente, as suas propriedades quanto à absorção de água e resistência à fractura podem ser afectadas negativamente. Os mesmos azulejos também se destacam por apresentarem valores mais baixos que a média em Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e TiO<sub>2</sub> o que implica que possuam uma chacota em tons mais claros. O menor teor de fundentes presentes nestes azulejos implica o aumento da refractariedade.

Em relação à percentagem de CaO e MgO, quanto menores as percentagens maior a temperatura de cristalização e também o coeficiente de expansão térmica fica reduzido, ao passo que a resistência à flexão e a tenacidade à fractura dos azulejos aumenta.

Percentagens elevadas de CaO (excepto processos n.º020 e 087), bastante utilizado como fundente, estão na origem de percentagens de hidróxido de ferro e óxidos mais altas que as verificadas nos processos n.º020 e 087, donde se conclui que a matéria-prima não possuía um carácter tão puro quanto a utilizada na produção dos azulejos relacionados com

os processos mencionados acima, em que as grandes quantidades de  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , basicamente caulino e quartzo, tornaram a chacota mais refractária. Assim, os azulejos com  $\text{Si}_2\text{O}$  na ordem dos 45% e grandes percentagens de fundentes ( $\text{MnO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{K}_2\text{O}$ ) normalmente apresentarão menos absorção de água dos que os mais pobres em fundentes.

#### 6.1.1.2. Argamassas de Ovar

Apesar de terem sido realizadas as análises de FRX a apenas duas argamassas, através de comparação com resultados de outros estudos apresentados no capítulo 3.2, é possível tirar algumas ilações.

Tabela 17: Resultados da análise de FRX de argamassas originais.

	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{MgO}$	$\text{CaO}$	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	L.O.I.	Cl
<b>RDS538</b>	50,33%	16,15%	1,85%	0,57%	18,36%	0,23%	0,69%	0,29%	0,08%	11,30%	0,03%
<b>RJF147</b>	63,15%	18,71%	4,17%	0,31%	6,89%	0,15%	0,88%	0,22%	0,21%	5,25%	-

A argamassa com referência RDS538, pertencente ao processo n.º127, é composta por uma quantidade percentual de fundentes superiores à argamassa do processo RJF147 e também em relação às restantes amostras apresentadas na Tabela 8, o que faz com que absorção da água desta seja um pouco menor podendo influenciar o tipo de aderência nas interfaces argamassa/suporte e argamassa/azulejo, o que é visível através da Tabela 7, a qual comprova que existe uma boa aderência na ligação dos três materiais. Por outro lado, o facto de a moradia pertencente a esta referência ficar orientada a noroeste, e conforme as anomalias indicam, está sujeita a humidades ascensionais, além de se situar junto a uma estrada movimentada onde há contacto permanente com sulfatos oriundos da poluição dos automóveis o que por consequência se traduz em reacções que levam à perda de vidrado, que por si só promove a degradação dos azulejos e posteriormente a degradação da argamassa.

A argamassa de referência RJF147 é constituída por maior percentagem de sílica e alumina o que poderia indicar uma ligação mais forte entre os materiais, no entanto, a partir da Tabela 7, apesar de ser visível uma boa aderência entre argamassa e suporte, a aderência entre argamassa e azulejo é fraca, o que poderá revelar que a composição

mineralógica influencia pouco ou nada o tipo de ligação mecânica entre os materiais envolvidos.

### 6.1.2. Análise granulométrica da areia

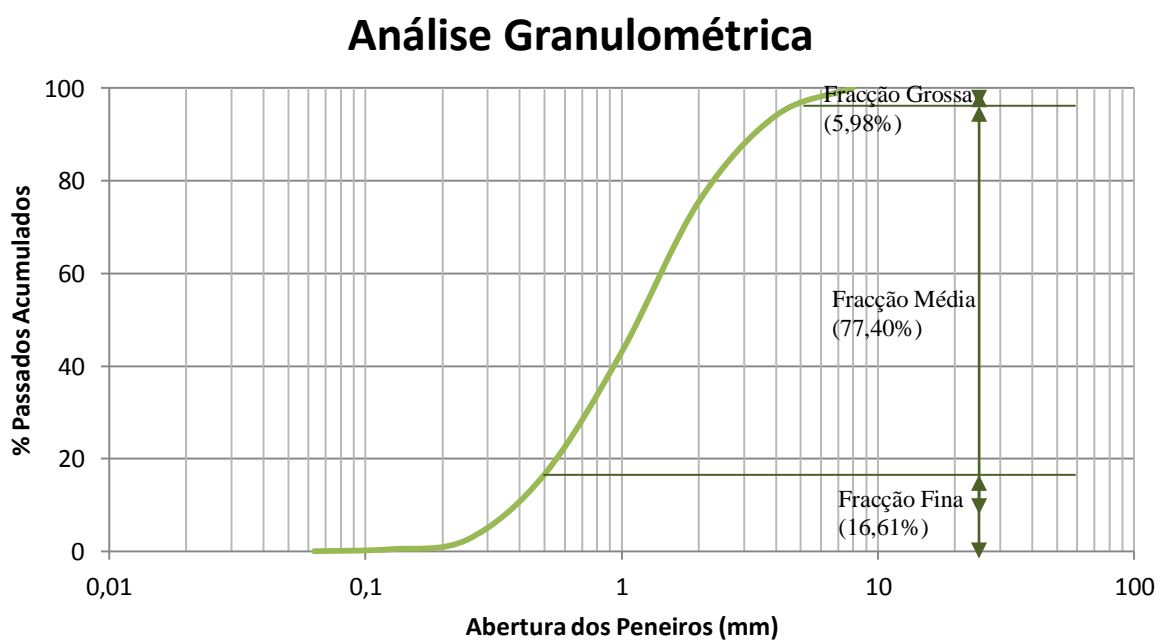


Figura 37. Curva granulométrica de areia de rio.

A curva granulométrica resultante do ensaio realizado sobre a areia utilizada nos ensaios é a indicada na Figura 37, com as respectivas percentagens granulométricas encontradas, verificando-se que é constituída maioritariamente por areia mediana.

É importante referir o silte, que na lavagem da areia ficou em suspensão na água, representando assim 0,86% da amostra, isto é, 2,57g.

### 6.1.3. Argamassa fresca – consistência por espalhamento

A consistência por espalhamento depende sobretudo da quantidade de água adicionada à mistura ligante e agregado. A Tabela 18 apresenta os valores de consistência por espalhamento relativamente a cada argamassa realizada para as campanhas de ensaios, excepto as argamassas realizadas para aplicação de chapisco sobre o suporte, já que estas têm uma fluidez muito grande, sendo impossível serem submetidas a qualquer ensaio.

As argamassas foram referenciadas da seguinte forma “Ligante\_Lado\_Campanha de ensaio”, onde o ligante é diferenciado por “CA” e “CI”, correspondendo a cal e cimento, respectivamente, e o lado corresponde a cada face onde foi aplicada a argamassa num provete.

O volume de argamassa em cada campanha, apesar de se manter o traço, variou consoante a quantidade de provetes a ser realizados e foi influenciado maioritariamente pelo facto de todo o processo ter sido efectuado manualmente, obrigando a um esforço maior já que a trabalhabilidade da argamassa era muito baixa, tendo sido então realizadas as quantidades estritamente necessárias para atingir os objectivos em cada campanha. A quantidade de água utilizada em cada argamassa dependeu da trabalhabilidade da mesma tal como também da percentagem de humidade relativa do ar e temperatura ambiente no momento da realização da composição, estes factores influenciaram argamassas que foram produzidas em momentos diferentes com quantidades iguais, onde a hidratação não foi igual, procedendo-se ao método de espalhamento, principalmente, nas argamassas de cal, uma pequena adição de água causava uma grande variação no espalhamento, obrigando assim a um acréscimo no ligante e agregado de forma a diminuir o espalhamento.

Tabela 18: Proporções e consistência por espalhamento das formulações realizadas em laboratório.

Referência argamassa	Ligante (kg)	Areia (kg)	Água (L)	Razão água/ligante	Consistência por espalhamento (mm)
CA_L1_1	1,978	5,9	1,120	0,57	120
CA_L2_1	1,978	5,9	1,120	0,57	120
CA_L1_2	1,670	5,0	1,136	0,68	135
CA_L2_2	1,677	5,0	1,119	0,67	130
CA_L1_3	1,833	5,5	1,549	0,85	140
CA_L2_3	1,500	4,5	1,148	0,77	130
CA_L1_4	0,833	2,5	0,672	0,81	140
CA_L2_4	1,330	4,0	1,044	0,78	135
CI_L1_2	1,670	5,0	0,468	0,28	147
CI_L2_2	1,977	5,9	0,516	0,26	155

As argamassas CA\_L1\_1 e CA\_L2\_1 apesar de possuírem uma mistura com a mesma quantidade de constituintes e ter sido obtido um resultado igual no método de espalhamento, estas são argamassas distintas realizadas com 48h de intervalo.

Para argamassas de cal, um espalhamento entre os valores 120 e 140 é o aceitável, no entanto, implica que a argamassa possua um elevado índice de viscosidade, ou seja, a velocidade de deformação da mesma é baixa, o que implica que a sua trabalhabilidade seja mais baixa quando comparada com uma argamassa de cimento. O facto de possuir uma trabalhabilidade mais baixa que a argamassa de cimento torna a execução dos provetes mais difícil, sendo necessário impor uma maior força na aplicação da argamassa no tijolo, implicando um aumento de tensões no provete, nomeadamente na execução do lado 2 provocando um incremento de tensões no lado oposto.

As argamassas de cimento devem ter um espalhamento tal que o valor deve ser maior que 140mm e menor que 160mm, o que é verificado na tabela.



## 6.2.Resultados dos Ensaios

### 6.2.1. Ensaios de flexão e compressão

Para a primeira campanha de provetes não foram realizados quaisquer prismas de argamassa para ensaios de resistência à flexão e compressão da mesma. Assim, nos dois subcapítulos seguintes apenas se fará referência às três últimas campanhas, as quais estarão identificadas com as referências já definidas no subcapítulo anterior e onde todos os provetes foram ensaiados à flexão e compressão aos 28 dias.

#### 6.2.1.1. Resistência à flexão da argamassa

Nos ensaios de resistência à flexão dos provetes de argamassa a ruptura ocorreu como esperado, a meio vão, conforme a Figura 38, determinando-se posteriormente, a partir da expressão (1), os resultados apresentados na Tabela 19.

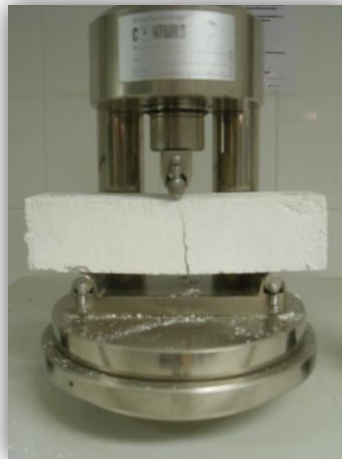


Figura 38. Ruptura do provete no ensaio à flexão.

Tabela 19: Resultados de ensaio de tracção à flexão.

Referência	Resistência média à flexão (MPa)	Razão A/L
CA_L1_2	0,7	0,68
CA_L2_2	0,3	0,67
CA_L1_3	0,4	0,85
CA_L2_3	0,4	0,77
CA_L1_4	0,4	0,81
CA_L2_4	0,4	0,78
CI_L1_2	6,3	0,28
CI_L2_2	6,9	0,26

Os valores que provocaram uma dispersão forte nos resultados foram eliminados, logo, apenas aqueles em que o quociente entre o desvio padrão e a média em percentagem eram menores que 10% foram incluídos no estudo. Assim, tendo em conta o mesmo critério, foi excluído o valor de resistência à flexão de CA\_L1\_2.

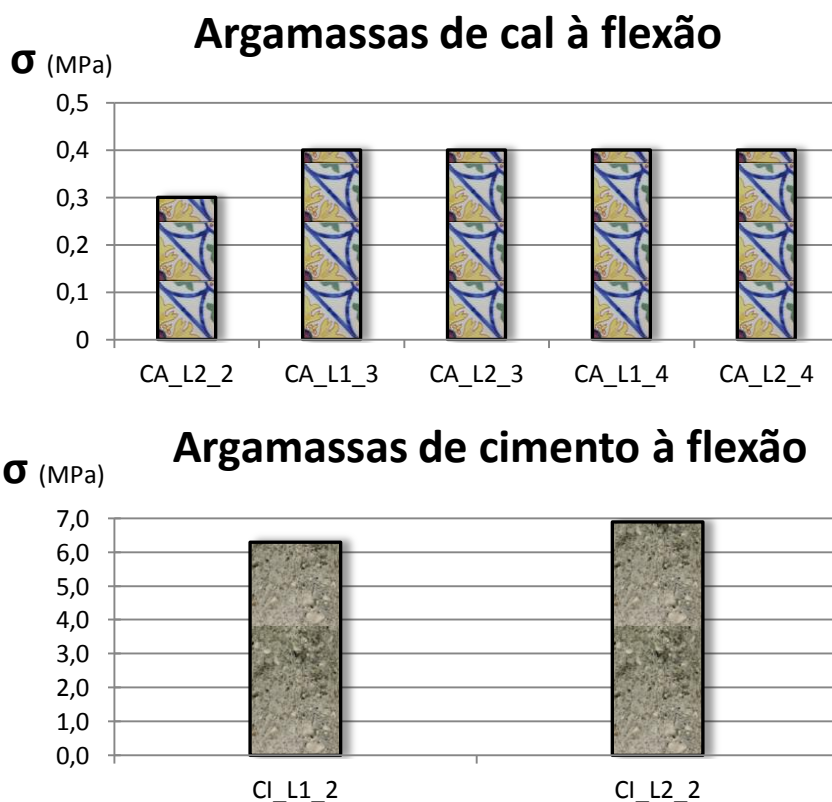


Figura 39. Gráficos comparativos da resistência das argamassas de cal e cimento à flexão.

Verifica-se uma clara distinção entre as características mecânicas das argamassas de cal e as de cimento, assim, como a ordem de grandeza dos valores obtidos entre estas são bastante diferentes, tornou-se mais adequado a representação dos resultados em gráficos distintos.

As argamassas de cal possuem em média um valor de ruptura à flexão de aproximadamente 0,4MPa, mantendo um comportamento relativamente constante, excepto a argamassa CA\_L2\_2 apresentando um resultado menor, podendo estar relacionado com o grau de compactação efectuado.

Quanto às argamassas de cimento, apesar de possuírem o mesmo traço, CI\_L2\_2 apresenta um valor inferior na razão água/cimento o que implica maior resistência mecânica que CI\_L1\_2, como é comprovado graficamente.

#### 6.2.1.2. Resistência à compressão da argamassa

Os resultados dos ensaios de resistência à compressão, dos provetes de argamassa resultantes do ensaio de flexão, apresentados na Tabela 20, foram calculados a partir da expressão (2).



Figura 40. Ensaio de provete (à esquerda). Forma de ruptura dos provetes à compressão (à direita).

Na Figura 40, tendo em conta a forma de ruptura dos provetes, que após ensaio apresentaram na sua generalidade o formato de duas pirâmides quadrangulares invertidas para o interior do provete, verifica-se que os procedimentos normalizados foram seguidos e realizados correctamente, caso contrário os provetes não apresentariam o aspecto figurado acima.

Tabela 20: Resultados médios de ensaio à compressão das argamassas formuladas.

Referência	Resistência à compressão (MPa)	Razão A/L
CA_L1_2	1,0	0,68
CA_L2_2	0,7	0,67
CA_L1_3	0,7	0,85
CA_L2_3	0,8	0,77
CA_L1_4	0,8	0,81
CA_L2_4	0,7	0,78
CI_L1_2	15,2	0,28
CI_L2_2	21,0	0,26

Tal como ocorreu nos ensaios de resistência à flexão, verifica-se uma discrepância enorme entre os valores obtidos das argamassas de cal e as de cimento, sendo desta forma, mais uma vez apropriado a apresentação dos resultados em gráficos distintos.

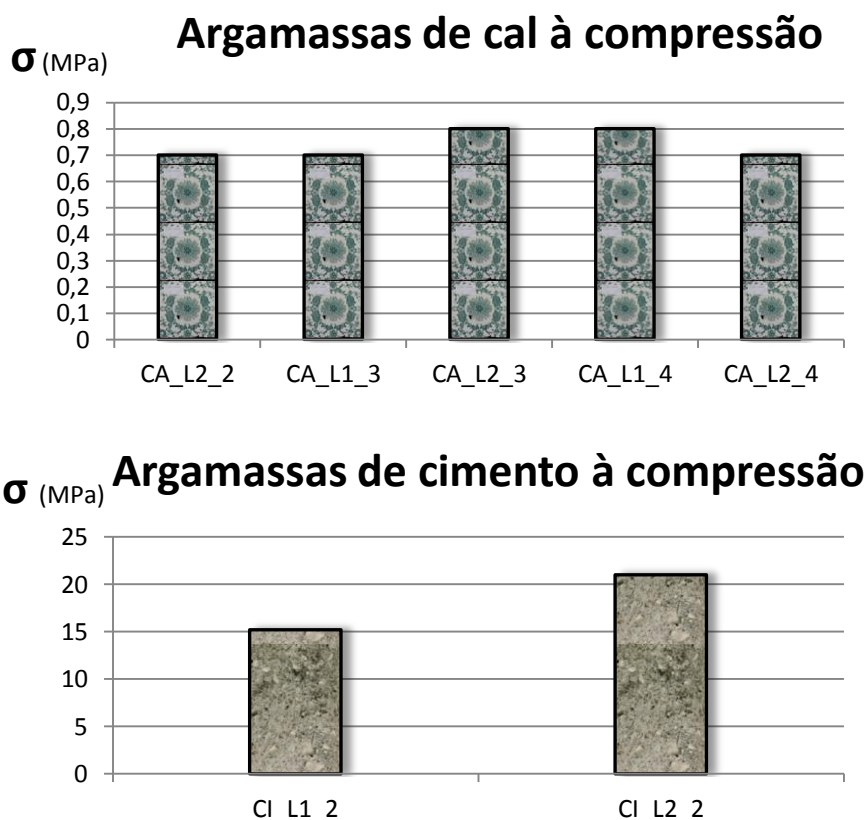


Figura 41. Gráficos comparativos da resistência das argamassas de cal e cimento à compressão.

De novo, registou-se um valor mais alto na CA\_L1\_2 provocando assim um coeficiente de variação superior a 10%, tendo sido este dado excluído da estatística. A pequena variação que é verificada graficamente nas argamassas de cal poderá estar relacionada com o método de compactação utilizado, exclusivamente manual, em que pode ter permanecido um índice de vazios nas argamassas CA\_L2\_2, CA\_L1\_3 e CA\_L2\_4 superior ao das argamassas CA\_L2\_3 e CA\_L1\_4, provocando uma redução na resistência mecânica das primeiras.

Relativamente às argamassas de cimento, como já mencionado no subcapítulo anterior, o facto da argamassa CI\_L2\_2 apresentar um valor ligeiramente superior deve-se a possuir uma razão de água/ligante de 0,26, ao contrário da argamassa CI\_L1\_2 que possui uma razão de 0,28, corroborando a teoria que quanto menor a razão água/ligante maior a resistência mecânica da argamassa.

## 6.2.2. Aderência por corte

### 6.2.2.1. Campanha de provetes – 1

Na primeira campanha de provetes, o assentamento dos azulejos sob o suporte não foi efectuado com a esquadria que deveria ter sido apropriada aplicar de forma a área de corte ser facilmente determinável, e a medida da espessura do assentamento ser o mais próximo da medida do emboço utilizado nas fachadas de Ovar. Assim, o método encontrado que de uma forma mais precisa e directa possibilitou a determinação da área sujeita ao corte nos primeiros ensaios foi o programa AutoCad (Autodesk, 2009), conforme exemplifica a Figura 42.

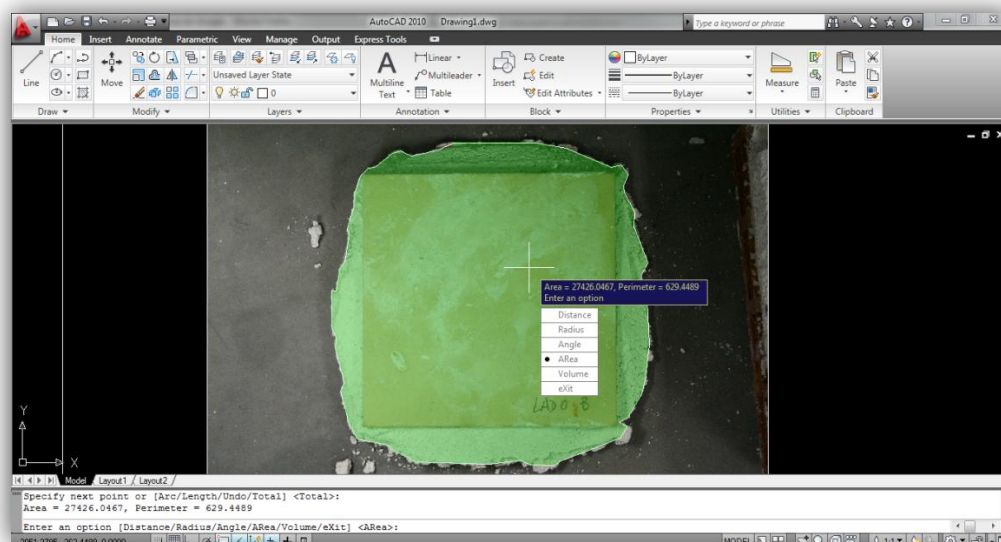


Figura 42. Determinação da área sujeita ao corte de cada face (Autodesk, 2009).

Com a determinação da área dos provetes sujeita ao corte e tendo a força total aplicada, foi criada a Tabela 21 com os resultados do cálculo da tensão máxima a que cada face dos provetes esteve sujeita no ensaio.

Todos os provetes estão referenciados como “proвете n.º\_ligante\_marca do azulejo”, sendo que para o ligante foram usadas as mesmas abreviaturas das referências dos prismas de argamassa. Para identificar a marca do azulejo utilizou-se as abreviaturas Hr, Az, AzV, 086, 024 e 104, correspondendo às marcas HCer, Azupal, Azupal com Primus Vitoria, azulejos do processo n.º086, 024 e 104, respectivamente.

Esta campanha de provetes foi ensaiada aos 6 meses, o que não aconteceu com as campanhas de provetes realizadas posteriormente.

Tabela 21: Tensões de corte dos primeiros ensaios experimentais.

Provete	Força aplicada (N)	Área da superfície sujeita ao corte (mm <sup>2</sup> )	Tensão de corte (kPa)
P1_CA_Hr	899,20	30914,58	14,54
		27701,16	16,23
P2_CA_Hr	915,36	28860,45	15,86
		30243,20	15,13
P3_CA_Az	879,00	31415,67	13,99
		27426,05	16,02
Média =			15,30
Desvio Padrão =			0,90
Coeficiente de Variação =			5,86%

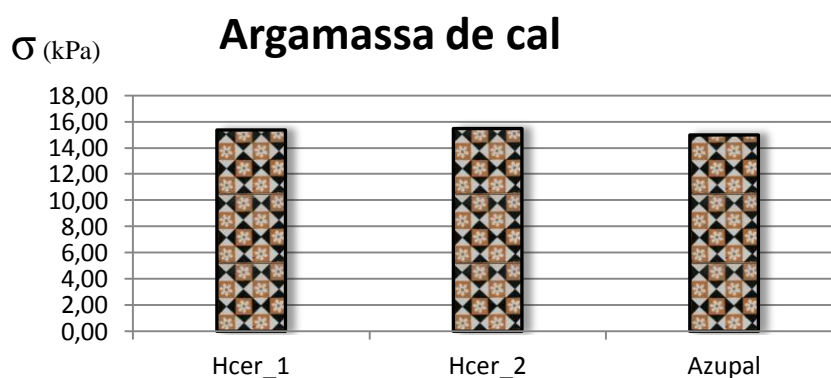


Figura 43. Gráfico comparativo dos resultados obtidos no primeiro ensaio experimental de aderência por corte.

Os azulejos utilizados acima são semelhantes quanto ao nível químico aos utilizados para reproduções no preenchimento de lacunas nas fachadas de Ovar, os quais foram sujeitos a análise de FRX, conforme a secção 6.1.1.1.

Nesta campanha não foram realizados provetes prismáticos para ensaios de resistência à compressão e à tracção por flexão como justificado anteriormente. Por esta razão a análise é limitada aos resultados de resistência à aderência por corte.

A tensão de corte foi calculada por face, visto que a área de contacto argamassa/suporte não estava definida com área conhecida como posteriormente foi realizado nos restantes provetes produzidos. Desta forma, foi calculada a média das duas faces para cada provete obtendo assim os resultados representados graficamente.

O coeficiente de variação das tensões de corte é relativamente baixo, devolvendo três resultados muito próximos, neste caso, o factor idade da argamassa é crucial, tanto no

valor atingido de resistência à aderência por corte em cada provete como na relativa uniformidade dos resultados. Uma das características da argamassa de cal é o endurecimento lento, logo quanto mais idade a argamassa tiver melhor a sua resistência mecânica.

As figuras seguintes comprovam o tipo de ruptura que se observou nos ensaios de onde se obteve os resultados apresentados na Tabela 21 e Figura 43.

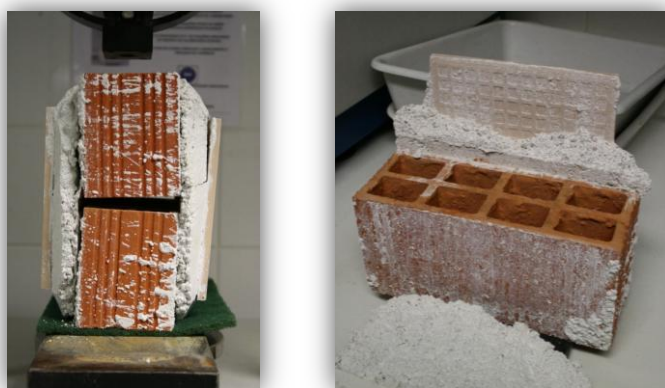


Figura 44. Ruptura do provete P1\_CA\_Hr.



Figura 45. Ruptura do provete P2\_CA\_Hr.



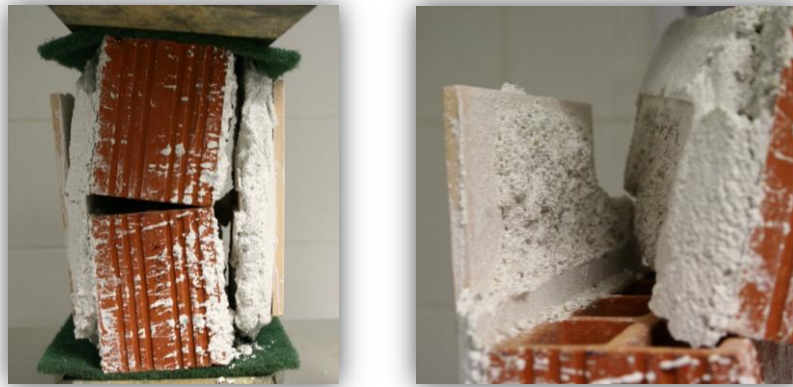


Figura 46. Ruptura do provete P3\_CA\_Az.

Tabela 22: Modos de ruptura da campanha de provetes com cal – 1.

Proвете	Modo de ruptura
P1_CA_Hr	Adesiva chapisco/suporte
	Coesiva argamassa
P2_CA_Hr	Coesiva chapisco
	Coesiva argamassa
P3_CA_Az	Coesiva chapisco
	Coesiva argamassa

Apesar de em alguns provetes se verificar os dois tipos de ruptura num lado, adesiva e coesiva, admite-se como modo de ruptura o que foi manifestado maioritariamente, como exemplificado na Figura 47, onde se comprova que o modo de ruptura coesiva corresponde a cerca de 60% - 70% da ruptura total, sendo que geralmente a ruptura coesiva ocorre no interior da área de assentamento e a ruptura adesiva dá-se geralmente na periferia da mesma.

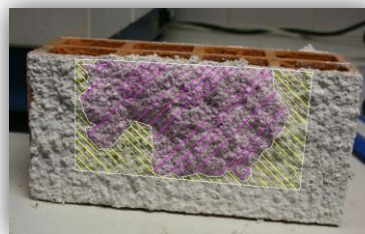


Figura 47. Áreas correspondentes aos modos de ruptura adesiva (amarelo) e coesiva (rosa).

Assim, pode-se afirmar que maioritariamente ocorre a ruptura coesiva no chapisco ou na argamassa, exceptuando o provete P1\_CA\_Hr em que se deu de um lado a ruptura adesiva na interface chapisco/suporte.

#### 6.2.2.2. Campanha de provetes - 2

Deste ponto em diante, os provetes foram produzidos com o auxílio de um esquadro de madeira que permitiu a aplicação do assentamento com área e espessura conhecidas, não havendo por isso necessidade de recorrer ao cálculo das áreas através de um programa informático, como na campanha de provetes - 1.

Tabela 23: Resultados dos ensaios à aderência por corte, com cal.

Referência provete	Força aplicada (N)	Distância média de pontos fixação dos sensores (mm)	Superfície de corte por face (mm <sup>2</sup> )	Deformação nos sensores (mm)	Tensão de corte por face (kPa)
P4_CA_Hr	438,48	166,0	19600	0,031	11,19
P5_CA_Az	459,03	169,0	19600	0,021	11,71
P6_CA_Az	237,55	168,0	19600	0,034	6,06 <sup>1</sup>
P7_CA_Az	393,57	169,0	19600	0,095	10,04
P8_CA_Hr	204,15	167,5	19600	0,005	5,21 <sup>1</sup>
Média =					10,98
Desvio Padrão =					0,85
Coeficiente de Variação =					7,78%

<sup>1</sup> – Valores excluídos para o cálculo da média devido a provocarem uma dispersão nos resultados na ordem dos 34%.

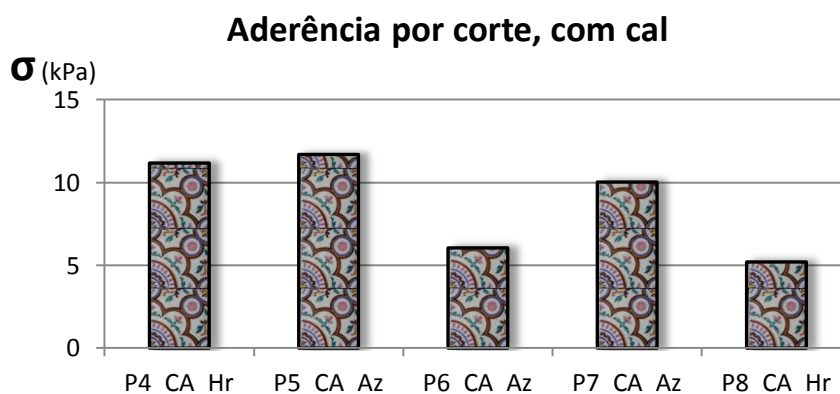


Figura 48. Gráfico comparativo da resistência à aderência por corte nos provetes com argamassas de cal e azulejos de substituição.

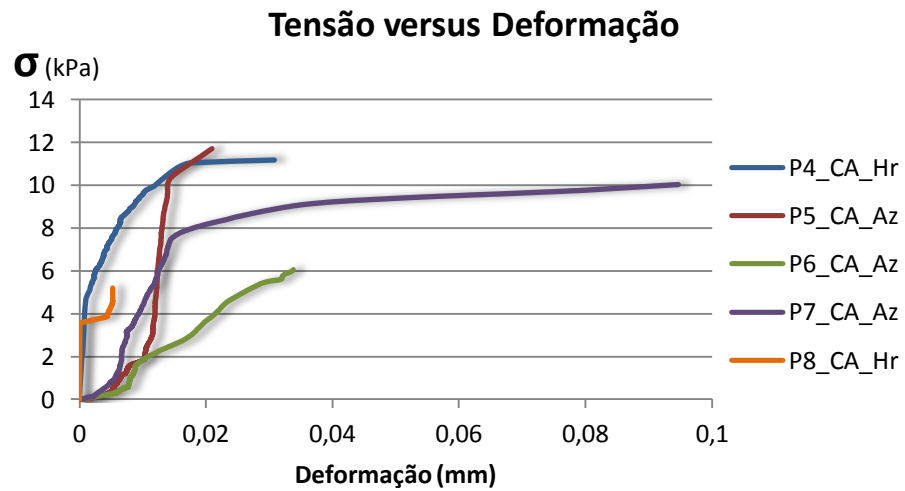


Figura 49. Diagrama representativo tensão/deformação dos provetes com cal e azulejos de substituição.

É nítida a diferença entre os valores obtidos nos provetes P6\_CA\_Az e P8\_CA\_Hr e os restantes três, no entanto, não é possível definir um padrão relacionando as diferenças entre os azulejos com o modo de ruptura dos provetes.

Segundo o diagrama tensão/deformação, os provetes P8\_CA\_Hr e P4\_CA\_Hr apresentaram uma maior rigidez, ao contrário dos provetes P5\_CA\_Az, P6\_CA\_Az e P7\_CA\_Az, nomeadamente os dois últimos, que apresentaram um comportamento mais dúctil.



Figura 50. Modo de ruptura do provete P4\_CA\_Hr.



Figura 51. Modo de ruptura do provete P5\_CA\_Az.



Figura 52. Modo de ruptura do provete P6\_CA\_Az.



Figura 53. Modo de ruptura do provete P7\_CA\_Az.



Figura 54. Modo de ruptura do provete P8\_CA\_Hr.

Tabela 24: Modos de ruptura da campanha de provetes com cal – 2.

Proвете	Modo de ruptura
P4_CA_Hr	Adesiva argamassa/chapisco
	Adesiva argamassa/chapisco
P5_CA_Az	Adesiva argamassa/chapisco
	Adesiva argamassa/chapisco
P6_CA_Az	Adesiva argamassa/chapisco
	Coesiva argamassa
P7_CA_Az	Adesiva argamassa/chapisco
	Coesiva argamassa
P8_CA_Hr	Adesiva argamassa/chapisco
	Adesiva argamassa/chapisco

Relativamente ao modo de ruptura, é possível depreender por observação dos ensaios, um predomínio da ruptura adesiva na interface argamassa/chapisco. Os provetes P6\_CA\_Az e P7\_CA\_Az ao apresentarem uma ruptura adesiva na interface argamassa/azulejo pode ser indicativo de uma baixa percentagem de humedecimento dos azulejos ou a elevada porosidade dos mesmos, tendo em conta que estes não possuíam vidrado, agravando a evaporação da água que permitiria uma melhoria na ligação azulejo/argamassa.

A utilização de uma placa de madeira com espessura de 1cm, colocada entre os dois tijolos constituintes do provete, poderá ter induzido uma maior fragilidade nos provetes, em que a placa de madeira ao entrar em contacto com a água utilizada no processo, apresentou uma variação considerável de volume, variação esta que não foi

acompanhada da mesma forma pela argamassa ao longo do processo de secagem causando assim tensões ao nível do chapisco e argamassa, os quais estavam confinados pelos azulejos, onde estes também são limitados ao nível da deformação livre.

A Tabela 25, apresenta os resultados dos ensaios de resistência à aderência por corte nos provetes realizados com argamassa de cimento, após 28 dias, onde se registou obviamente valores bastante superiores quando comparados com os resultados dos provetes com argamassa de cal.

Tabela 25: Resultados dos ensaios à aderência por corte, com cimento.

Referência provete	Força aplicada (N)	Distância média de pontos fixação dos sensores (mm)	Superfície de corte por face (mm <sup>2</sup> )	Deformação nos sensores (mm)	Tensão de corte por face (kPa)
P9_CI_Az	1815,35	172,5	19600	0,054	46,31 <sup>1</sup>
P10_CI_Az	3405,30	165,0	19600	0,013	86,87
P11_CI_Hr	2495,08	169,5	19600	0,040	63,65 <sup>1</sup>
P12_CI_AzV	7513,07	173,0	19600	0,049	191,66 <sup>1</sup>
P13_CI_Hr	5393,53	169,5	19600	0,115	137,59 <sup>1</sup>
P14_CI_Hr	3351,21	168,0	19600	0,015	85,49
Média =					86,18
Desvio Padrão =					0,98
Coeficiente de Variação =					1,13%

<sup>1</sup> – Valores excluídos para o cálculo da média devido a provocarem uma dispersão nos resultados.

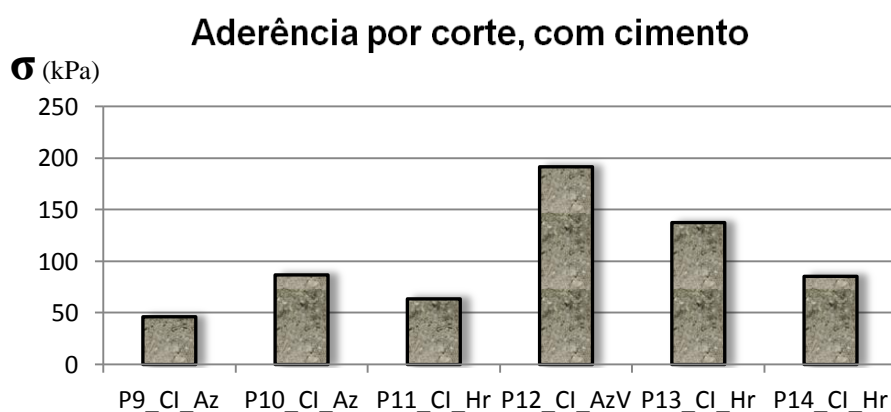


Figura 55. Gráfico comparativo da resistência da aderência por corte das argamassas de cimento.

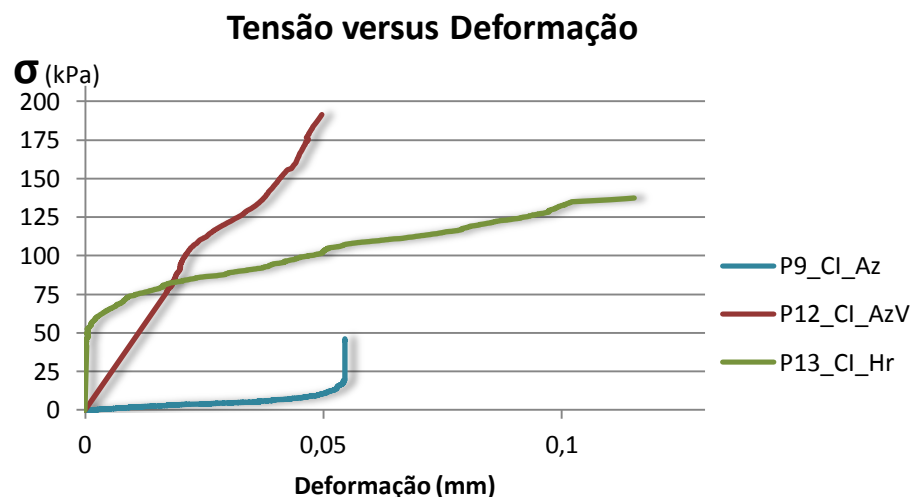


Figura 56. Diagrama representativo tensão/deformação dos provetes com cimento e azulejos de substituição.

Apesar da diferença de valores de tensões de corte por face em relação aos provetes com argamassa de cal, existe uma variação considerável entre os provetes com argamassa de cimento, como é visível nos provetes P12\_CI\_AzV e P13\_CI\_Hr que devolveram um valor de resistência à aderência ao corte muito superior aos restantes. Também nos provetes P9\_CI\_Az e P11\_CI\_Hr verificaram-se valores muito inferiores aos restantes e mesmo diferentes entre si. Com isto, torna-se quase impossível padronizar qualquer um dos comportamentos, tanto menor resistência como maior resistência à aderência por corte, visto que as variações ocorrem independentemente do tipo de azulejos utilizados ou dos dois tipos de argamassas utilizadas, que apesar de possuírem o mesmo traço apresentaram resistências diferentes à tracção por flexão e compressão.

Relativamente ao diagrama tensão/deformação, os provetes P10\_CI\_Az e P11\_CI\_Hr não foram representados devido a um registo de valores anómalos ao longo do ensaio, no entanto, foram registados os valores máximos de força aplicada e deformação, os quais estão mencionados na Tabela 25.

De seguida, apresentam-se as figuras representativas do modo de ruptura de cada provete com argamassa de cimento.





Figura 57. Modo de ruptura do provete P9\_CI\_Az.



Figura 58. Modo de ruptura do provete P10\_CI\_Az.



Figura 59. Modo de ruptura do provete P11\_CI\_Hr.





Figura 60. Modo de ruptura do provete P12\_CI\_AzV.



Figura 61. Modo de ruptura do provete P13\_CI\_Hr.



Figura 62. Modo de ruptura do provete P14\_CI\_Hr.

Tabela 26: Modos de ruptura da campanha de provetes com cimento – 2.

Proвете	Modo de ruptura
<b>P9_CI_Az</b>	Adesiva chapisco/suporte
	Adesiva chapisco/suporte
<b>P10_CI_Az</b>	Adesiva chapisco/suporte
	Adesiva chapisco/suporte
<b>P11_CI_Hr</b>	Adesiva chapisco/suporte
	Adesiva chapisco/suporte
<b>P12_CI_AzV</b>	Adesiva chapisco/suporte
	Adesiva azulejo/argamassa
<b>P13_CI_Hr</b>	Adesiva chapisco/suporte
	Adesiva chapisco/suporte
<b>P14_CI_Hr</b>	Adesiva chapisco/suporte
	Adesiva chapisco/suporte

Nos provetes com argamassa de cimento, verifica-se uma clara predominância da ruptura adesiva chapisco/suporte, implicando boa aderência chapisco/argamassa e argamassa/azulejo. O provete P12\_CI\_AzV é a exceção, apresentando ruptura adesiva na interface azulejo/argamassa verificando-se assim que a aderência nas restantes interfaces era bastante forte, e tal como representado no diagrama tensão/deformação, o provete apresentou uma rigidez elevada, levando a uma ruptura frágil, provocando assim o destacamento do azulejo.

#### 6.2.2.3. Campanha de provetes – 3 e 4

Esta campanha de ensaios onde são apresentados de seguida os resultados, foi realizada com provetes fabricados com azulejos originais das fachadas de Ovar e ensaiados após 28 dias.

Tabela 27: Resultados dos ensaios à aderência por corte com azulejos originais de Ovar.

Referência provete	Força aplicada (N)	Distância média de pontos fixação dos sensores (mm)	Superfície de corte por face (mm <sup>2</sup> )	Deformação nos sensores (mm)	Tensão de corte por face (kPa)
Proc. n.º086	570,07	169,5	19321	0,031	14,75
Proc. n.º024	524,28	171,0	17290	0,022	15,16
Proc. n.º104	456,29	175,5	19600	0,047	11,64 <sup>1</sup>
Média =					14,96
Desvio Padrão =					0,29
Coeficiente de Variação =					1,93%

<sup>1</sup> – Valores excluídos para o cálculo da média devido a provocarem uma dispersão nos resultados.

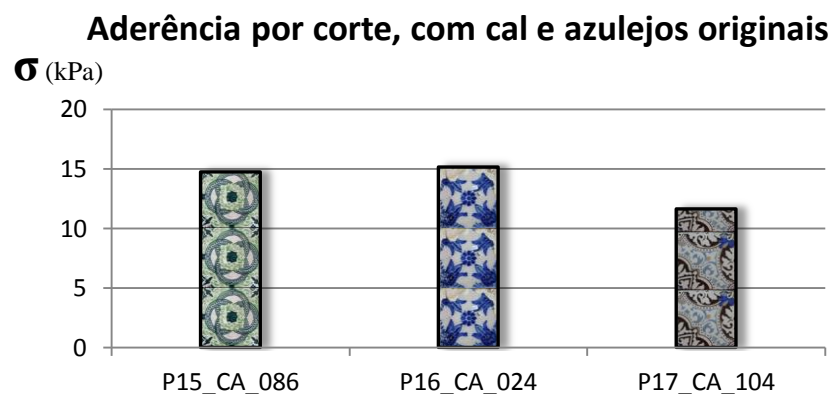


Figura 63. Gráfico comparativo da resistência à aderência por corte, azulejos originais de Ovar.

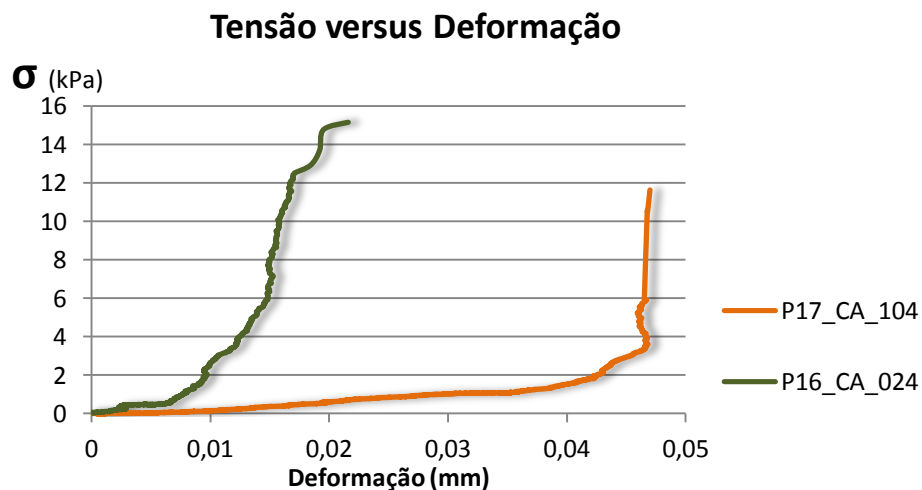


Figura 64. Diagrama representativo tensão/deformação dos provetes com cal e azulejos originais.

O provete P16\_CA\_024 apresentou o melhor resultado apesar de os azulejos constituintes possuírem um tardo liso, com alguma rugosidade natural mas sem quadriculas, profundidades, marcas ou relevos, e do qual inicialmente, tendo em conta os factores apresentados, se esperava uma fraca resistência à aderência por corte, o que na prática foi provado o contrário.

No que diz respeito ao diagrama tensão/deformação, o provete P15\_CA\_086 apresentou dados inconsistentes com o ensaio realizado, daí não se encontrar representado no diagrama, apesar disso, foi obtido o valor máximo de força aplicada no provete e a deformação máxima que o mesmo sofreu, estando estes valores mencionados na Tabela 27. Relativamente aos provetes P16\_CA\_024 e P17\_CA\_104, apesar de apresentarem um comportamento diferente no diagrama, o primeiro mais dúctil que o segundo, foram utilizadas as mesmas argamassas para estes dois, as CA\_L1\_4 e CA\_L2\_4.

As figuras seguintes elucidam quanto ao modo de ruptura observado no momento da realização dos ensaios sobre os provetes com os azulejos originais.



Figura 65. Modo de ruptura do provete P15\_CA\_086.



Figura 66. Modo de ruptura do provete P16\_CA\_024.



Figura 67. Modo de ruptura do provete P17\_CA\_104.

Tabela 28: Modos de ruptura da campanha de provetes com cal – 3 e 4.

Provete	Modo de ruptura
P15_CA_086	Adesiva argamassa/chapisco
	Adesiva argamassa/chapisco
P16_CA_024	Coesiva argamassa
	Coesiva argamassa
P17_CA_104	Adesiva chapisco/suporte
	Coesiva argamassa

A partir dos modos de ruptura dos três provetes ensaiados com azulejos originais, verifica-se uma predominância da ruptura coesiva na camada de argamassa o que denota uma boa aderência nas interfaces azulejo/argamassa e chapisco/suporte apesar de o suporte

não ser representativo do original. Foi utilizado método de classificação do modo de ruptura exemplificado no ponto 6.2.2.1, segundo a Figura 47.

No provete P16\_CA\_024, no lado 2 ocorre ruptura coesiva na argamassa, esta surgiu a partir de uma fissura que era perceptível pré-ensaio na zona intermédia provavelmente provocada pela variação de volume da placa de madeira colocada entre os tijolos, sendo assim uma área fragilizada mesmo antes do ensaio a que o provete foi submetido.



## 7. CONCLUSÕES

Foi efectuado um estudo de forma a verificar a aplicabilidade do ensaio de resistência à aderência por corte no sistema azulejo/argamassa/tijolo, tendo por base o caso real das fachadas azulejares da cidade de Ovar.

Nas várias campanhas realizadas relativamente aos provetes constituídos por cal, verificou-se rupturas do tipo coesiva na camada de argamassa e chapisco e adesiva na interface argamassa/chapisco, devolvendo valores de tensão por corte por face contidos num intervalo de 10kPa e 16kPa. Na campanha de provetes – 3 e 4, os mesmos foram ensaiados após 28 dias, em que possuem valores na ordem dos 15kPa, ao contrário da campanha de provetes – 1, onde os provetes foram ensaiados aos 6 meses, dando valores da mesma ordem, aproximadamente 15kPa, provando que o valor de resistência à aderência por corte se mantém praticamente inalterável. Nas campanhas de provetes – 3 e 4, os valores de tensão são justificados pela retenção de água na argamassa, já que apesar de o suporte ser bastante poroso, o azulejo composto pelo vidrado, além de funcionar como elemento confinante, evita também a rápida evaporação da água permitindo uma melhor ligação entre materiais. Relativamente à campanha de provetes – 1, os resultados são fundamentados pelo aumento de resistência da argamassa de cal ao longo do tempo. Assim, os provetes constituídos com argamassa de cal e azulejos vidrados devolvem valores fidedignos mesmo que ensaiados logo após os 28 dias.

Quando à campanha de provetes constituídos por argamassa de cimento, apesar de deformações maiores, os provetes também estão sujeitos a tensões muito superiores às apresentadas nas argamassas de cal, tendo sido obtido uma média de cerca de 86kPa, verificando-se maioritariamente o modo de ruptura adesiva chapisco/suporte com ruptura frágil. O facto de nesta campanha ter-se verificado uma excelente aderência entre argamassa/azulejo, torna-se uma propriedade prejudicial quando se está no campo da reabilitação e conservação, em que a irreversibilidade das medidas implementadas, onde se utiliza argamassa de cimento, pode estar em risco.

Assim, o método de ensaio desenvolvido no presente trabalho mostrou-se adequado e vantajoso na avaliação do mecanismo de aderência por corte no sistema

azulejo/argamassa/suporte, comprovando mais uma vez que a argamassa de cal é a apropriada para aplicação em obras de conservação e reabilitação.

Ao longo do processo surgiram algumas dificuldades que foram suplantadas, registando-se duas de maior relevância para o resultado final do estudo, sendo elas:

1. A necessidade de acoplar sensores de deformação ao sistema azulejo/argamassa/tijolo e no anel de carga, podendo assim, determinar com mais exactidão a tensão de corte aplicada em cada face e ter uma aproximação da deformação real do sistema quando sujeito à força imposta pela prensa digital. Os furos para a fixação dos sensores nos tijolos tiveram que ser realizados antes da aplicação das argamassas e azulejos, visto que a vibração excessiva juntamente com a fragilidade dos provetes imposta pela baixa resistência mecânica das argamassas de cal, levavam à ruptura do provete antes de ser submetido ao ensaio de resistência à aderência por corte.
2. A esquadria de madeira realizada revelou-se importante na medida que a área de aplicação da argamassa ficou limitada à área da esquadria, tendo assim áreas sujeitas ao corte com medidas conhecidas, onde inclusivamente a espessura da camada de argamassa correspondia à espessura da esquadria preparada para o efeito, tendo uma medida equivalente às utilizadas nas fachadas azulejares da cidade de Ovar.

Os parâmetros que directa ou indirectamente condicionaram os resultados obtidos a partir dos ensaios realizados e que ao longo do trabalho foram sendo indicados, de forma resumida são:

- Quantidade de água de amassadura das argamassas;
- Granulometria do agregado utilizado para produção das argamassas;
- Processo de execução da argamassa e processo de assentamento do azulejo sobre o tijolo;
- Percentagem de humedecimento dos materiais (tijolo e azulejo);
- Ausência de vidrado no azulejo;
- Manuseamento dos provetes antes dos ensaios;



- Utilização de um calço de madeira (quando em contacto com água fica sujeito a variações consideráveis de volume).

Como trabalho futuro é sugerido a reprodução em laboratório de provetes com suporte semelhante a um tijolo de adobe em medidas, no entanto, composto por argamassa de cal, areia média/grossa e xisto, que sendo feito a correspondência de escala, resultará em seixos menores do que os existentes nos suportes das fachadas de Ovar, sendo aplicadas uma camada de emboço seguida de outra de assentamento para aplicação do azulejo. Os azulejos se possível deverão ser da mesma época e pertencendo às fábricas que habitualmente forneciam a cidade de Ovar já referidas no início do presente trabalho, idealmente da mesma cidade. O tempo de secagem deve ser superior aos 28 dias já que a argamassa de cal demora bastante tempo a estabilizar, sendo que quanto mais tempo tiver de secagem maior a aproximação dos resultados ao real. De forma complementar também será de interesse analisar a microestrutura dos materiais envolvidos utilizando a técnica de porosimetria de mercúrio, onde é possível determinar entre outras características o volume poroso e a área específica do material.

Desta forma, com uma quantidade razoável de provetes, indubitavelmente se chegará a conclusões satisfatórias relativamente ao tipo de comportamento das interfaces sujeitas ao corte nas fachadas de Ovar, através da aplicação do mecanismo de ensaio estudado e executável com resultados aceitáveis.



## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almasqué, Maria Isabel Alves Planas e António José de Barros Veloso (2010). "Azulejos portugueses". Disponível em: <<http://www.oazulejo.net>> (consultado em: 7 Outubro).
- Amorós, J. L., E. Sánchez, et al. (2003). "Evolution of the mechanical strength of industrially dried ceramic tiles during storage", *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 23, pp. 1839-1845.
- Autodesk, Inc. (2009). *AutoCAD 2010*. Autodesk, Inc., San Rafael, EUA.
- Azulejo, Museu Nacional do (2008). "História do Azulejo". Disponível em: <<http://mnazulejo.imc-ip.pt>> (consultado em: 8 de Outubro).
- Biffi, Giovanni (1987). *Difetti di fabbricazione delle piastrelle*. Faenza Editrice S.p.A., Faenza.
- Carasek, Helena (2007). *Argamassas*, Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo.
- Carvoeiro, Águas do Vouga - Exploração e Gestão do Sistema Regional do (2011). "Relatório de ensaio nr: 2399/2011.01". Disponível em: <<http://www.aguasdovouga.com>> (consultado em: Setembro).
- Durbin, Lesley (2005). *Architectural Tiles: Conservation and Restoration. From the Medieval Period to the Twentieth Century*. Elsevier/Butterworth/Heinemann, London.
- Elsen, J. (2006). "Microscopy of historic mortars--a review", *Cement and Concrete Research*, vol. 36, pp. 1416-1424.
- EMO (2011). "What is Mortar? - History". Disponível em: <<http://www.euromortar.com>> (consultado em: 09 de Agosto).

- EN-933 (2000). *Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração.*, Cimento.
- EN-1015 (1998). *Specification for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar*, Standardization.
- EN-1015 (1999). *Methods of teste for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*, CEN.
- Ferreira, Maria Isabel Moura (2005). "Processo n.º069", Atelier de Conservação e Restauro de Azulejos, Ovar.
- Ferreira, Maria Isabel Moura (2006). "Processo n.º086", Atelier de Conservação e Restauro de Azulejos, Ovar.
- Ferreira, Maria Isabel Moura (2006). "Processo n.º087", Atelier de Conservação e Restauro de Azulejos, Ovar.
- Ferreira, Maria Isabel Moura (2009). *Azulejos Tradicionais de Fachada, em Ovar - Contributos para uma metodologia de conservação e restauro*. Câmara Municipal de Ovar e ACRA - Atelier de Conservação e Restauro do Azulejo, Ovar.
- Fraser, Harry (1998). *Glazes for the Craft Potter*. A & C Black Ltd, London.
- Grun, Elayne (2007). "Caracterização de argilas provenientes de Canelinhas/SC e estudo de formulações de massas cerâmicas", Tese de Mestrado em Engenharia dos Materiais, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville.
- Guerreiro, Carlos, Fernando M. A. Henriques, et al. (2007). "Análise comparativa de argamassas de cal aérea, medianamente hidráulicas e de ligantes mistos para rebocos de edifícios antigos" apresentado em: *II Congresso Nacional de Argamassas de Construção*, Lisboa.

- Hendry, A.W., B. Sinha, et al. (1997). *Design of Mansory Structures*. E & FN Spon, London.
- Henriques, Fernando M. A. (1995). *Humidade em Paredes*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Hu, A. M., M. Li, et al. (2008). "Growth behavior, morphology and properties of lithium aluminosilicate glass ceramics with different amount of CaO, MgO and TiO<sub>2</sub> additive", *Ceramics International*, vol. 34, pp. 1393-1397.
- Judiciária, Museu da Polícia (2007). "Conselhos Práticos ". Disponível em: <http://www.sosazulejo.com> (consultado em: 17 de Novembro).
- Kingery, W. D. (1960). *Introduction to Ceramics*. John Wiley & Sons, Inc., Nova Iorque.
- Lucas, José A. Carvalho (1990). *Exigências Funcionais de Revestimentos de Paredes*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Magalhães, A. e R. Veiga (2009). "Caracterización física y mecánica de los morteros antiguos. Aplicación a la evaluación del estado de conservación". *Materiales de Construcción*. 61-77.
- Mansur, Alexandra A. P. e Herman S. Mansur (2011). "Surface interactions of chemically active ceramic tiles with polymer-modified mortars", *Cement & Concrete Composites*, vol. 33, p. 7p.
- Margalha, Maria Goreti, Maria do Rosário Veiga, et al. (2006). "Algumas vantagens do uso da cal em pasta em revestimentos" apresentado em: *Patorreb*, Porto.
- Mariz, Luis (2009). "O azulejo na arquitectura da cidade do Porto [1850-1920] Caracterização e intervenção", Tese de Doutoramento, Pintura, Universidade Pais Basco, Leioa.

- Marques, Sofia Margarida Figueiredo (2005). "Estudo de Argamassas de Reabilitação de Edifícios Antigos", Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Meisse, Maximilian (2011). "Leão", 600 x 519. Museus Nacionais de Berlim, Berlim.
- Melucco, Alessandra, André De Naeyer, et al. (2000). "Princípios para a conservação e o restauro do património construído" em *Conferência Internacional sobre Conservação*, Cracóvia.
- Miguel, Patricia Raquel Esteves (2008). "Desenvolvimento de argamassas de reabilitação de edifícios em adobe", Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Moreira, Anabela Mendes (2008). "Materiais Cerâmicos - Materiais de Construção I", documento não publicado.
- MR14 (1994). *Recommendations for the Testing and Use of Construction Materials - Determination of the Bond of Renderings by Shear Tests*, RILEM.
- Museu, Nacional (2008). "História do Azulejo". Disponível em: <<http://mnazulejo.imc-ip.pt>> (consultado em: 8 de Outubro).
- Ozkahraman, H. T. e E. C. IsIk (2005). "The effect of chemical and mineralogical composition of aggregates on tensile adhesion strength of tiles", *Construction and Building Materials*, vol. 19, pp. 251-255.
- Paiva, J. Vasconcelos e M. Rosário Veiga (1996). *Curso de Especialização sobre revestimentos de paredes*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Palomo, A., M. T. Blanco-Varela, et al. (2002). "Historic Mortars: Characterization and Durability. New Tendencies for Research" apresentado em: *Advanced Research Centre for Cultural Heritage Interdisciplinary Projects*, Praga.

- Pereira, Manuel, Aires Camões, et al. (2010). "Caracterização de argamassas para assentamento de alvenaria de tijolo" apresentado em: *III Congresso Português de Argamassas de Construção - Sob a Égide da Energia*, Lisboa.
- Pinheiro, Daniel Silva, Luís M. Bragança Miranda Lopes, et al. (2006). *Descolagem de um Revestimento Cerâmico em Fachada*. PATORREB, Porto.
- Portela, Ana Margarida e Francisco Queiróz (2004). "A Fábrica de Cerâmica das Devesas - Património Industrial em Risco". Disponível em: <http://www.queirozportela.com/devesas.htm> (consultado em: 15 de Novembro).
- Queirós, José (1907). *Cerâmica Portuguesa e Outros Estudos*. (do autor), Lisboa.
- Rago, Fabiola e Maria Alba Cincotto (1999). *Influência do Tipo de Cal Hidratada na Reologia de Pastas*, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo.
- Ribeiro, Liliane (2011). "Azulejaria de Fachada, Formas e Agentes de Alteração", Tese de Licenciatura, Conservação e Restauro, Instituto Politécnico de Tomar, Tomar.
- Rodríguez, José Coscollano (2001). "Restauração Histórica" em *Tratamento da humidade nos edifícios*, España, Edição ed. Xirivella.
- Rossi, Maria Alice Porto (1999). "Cerâmica". Disponível em: <http://www.portorossi.art.br/web%20glossario.html> (consultado em: 01 Setembro).
- Santana, Carlos Roberto Batista de (2010). "Estudo da resistência de aderência ao cisalhamento em revestimentos argamassados", Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Católica de Pernambuco, Recife.
- Silva, Cristiane, Marcelo Farinha Silva, et al. (2006). "Azulejos históricos europeus produzidos no final do século XIX e início do século XX: caracterização

mineralógica e química de biscoitos" apresentado em: *XVII Seminário de Iniciação Científica*, Pará.

Silvestre, José e Jorge de Brito (2008). "Inspeção e diagnóstico de revestimentos cerâmicos aderentes". *Revista Engenharia civil*.

Soeiro, Teresa, Jorge Fernandes Alves, et al. (1995). "A cerâmica portuense: evolução empresarial e estruturas edificadas". *Portugália [Nova Série]*.

Stefanidou, M. e I. Papayianni (2005). "The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars", *Cement & Concrete Composites*, vol. 27, pp. 914-919.

Teixeira, Bruno Miguel Gomes Fernandes (2008). "Conservação de Fachadas Azulejadas em Ovar: comportamento mecânico", Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Tharp, Lars e Deborah (1995). "Faiança e Porcelana" em *Enciclopédia Ilustrada de Antiguidades*, Editions, Edição ed, New Interlitho SpA, Milão. Londres.

Valente, Carla Sofia dos Santos (2008). "Conservação de Fachadas Azulejadas em Ovar: comportamento face à água", Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro.

Vargas, Graziela Mônaco (2006). *Estudos básicos sobre normalização: origem, conceitos e organismos reguladores*, Edição ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Veiga, Maria Rosário (2005). "Comportamento de rebocos para edifícios antigos: Exigências gerais e requisitos específicos para edifícios antigos" apresentado em: *Seminário - Sais solúveis em argamassas de edificios antigos*, Lisboa.



- Veiga, Maria Rosário, José Aguiar, et al. (2001). "Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings" apresentado em: *International Seminar Historical Constructions*, Guimarães.
- Veiga, Maria Rosário da Silva (1998). "Comportamento de argamassas de revestimento de paredes: contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação", Tese de Doutoramento, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto.
- Veiga, Rosário e Fernanda Carvalho (2002). "Cadernos de Edifícios". Vol. 02. *Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos: requisitos e características a respeitar*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Velosa, Ana Luísa Pinheiro Lomelino (2006). "Argamassas de cal com pozolanas para revestimento de paredes antigas", Tese de Doutoramento, Seccção Autónoma de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Velosa, Ana e Rosário Veiga (2002). "Use Of Additivated Lime Mortars For Old Building Rehabilitation Adapted Testing Methods" apresentado em: *9th International Conference on Durability of Building Materials and Components*, Australia.
- Veloso, António José de Barros e Isabel Almasqué (1991). *Azulejaria de Exterior em Portugal*. Edições Inapa, Lisboa.
- Wikipédia. "Yiftahel" [Online]. Disponível em: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Yiftahel>>